

Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften  
Departement Angewandte Psychologie  
Forschungsschwerpunkt Verkehrs-, Sicherheits- & Umweltpsychologie  
Prof. Dr. Markus Hackenfort

Hackenfort, Markus (Hrsg.)

# **Chancen und Risiken der Nutzung von digitalen Brillen im Strassenverkehr**

**Forschungsbericht in Erfüllung des Postulats 14.4077/Hefti**

## Inhaltsverzeichnis

<b>1. Einführung</b>	
(M. Hackenfort).....	1
1.1 Definition, Abgrenzung und Nutzungsformen .....	1
1.2 Kategorisierung vorhandener Systeme .....	4
1.3 Weiterführung .....	5
<b>2. Studienergebnisse zu PHMD</b>	
(M. Hackenfort).....	6
2.1 Robbins & Jenkins, 2015 .....	6
2.2 Young, Stephens, Stephan & Stuart, 2015 & 2016 .....	7
2.3 Sawyer, Finomore, Calvo & Hancock, 2014 .....	8
2.4 Tippey, Sivaraj, Ardoin, Roady & Ferris, 2014 .....	10
2.5 Beckers, Schreiner, Bertrand, Reimer, Mehler, Munger & Dobres, 2014 .....	11
2.6 He, Ellis, Choi & Wang, 2015 .....	13
2.7 He, Choi, McCarley, Chaparro & Wang, 2015 .....	14
2.8 Samuel, Zafian, Nicholas, Zhang, Knodler & Fisher, 2016 .....	15
2.9 Zusammenfassung der Studien im Kontext des Führens eines Fahrzeugs .....	16
<b>3. Head-Up Displays in Fahrzeugen</b>	
(M. Hackenfort).....	18
3.1 Virtueller Bildabstand und Position .....	20
3.2 Attention Capture .....	21
3.3 Fehlanpassungseffekte .....	23
3.4 Kontrastinterferenzen .....	24
3.5 Weitere Effekte der Verwendung von HUD .....	24
3.6 Ergebnisse des HUD-Reviews nach Ward & Parkes, 1994 .....	24
3.7 Zusammenfassung und Ableitungen von Empfehlungen für PHMD .....	25
<b>4. Informationsquellen im Fahrzeug mit Schwerpunkt auf Informations- und Kommunikationssysteme</b>	
(C. Cordin & M. Hackenfort) .....	27
4.1 Erkenntnisse aufgrund von Studien im Realverkehr .....	29
4.1.1 Artho, Schneider & Boss, 2012 .....	29
4.1.2 Birrell, Fowkes & Jennings, 2014 .....	30
4.1.3 Strayer, Cooper, Turrill, Colemand & Hopman, 2015 .....	32
4.2 Erkenntnisse aufgrund von Simulatorstudien .....	34
4.2.1 Brookhuis, van Driel, Hof, Arem & Hoedemaeker, 2009 .....	34

4.2.2 Peng & Boyle, 2015.....	35
4.2.3 Jiménez, Bergasa, Nuevo, Hernández & Daza, 2012 .....	36
4.2.4 Wynn, Richardson & Stevens, 2013.....	37
4.3 Erkenntnisse aufgrund von Meta-Analysen und Literaturreviews .....	38
4.3.1 Green, 2000.....	38
4.3.2 Caird, Willness, Steel & Scialfa, 2008 .....	39
4.3.3 Weitere Befunde auf Basis von Meta-Analysen und Literaturreviews .....	40
4.4 Zusammenfassung der Befunde zu visuellen Ablenkungsquellen im Fahrzeug und deren Auswirkungsabschätzung auf PHMD .....	42
<b>5. Befunde aus wahrnehmungspsychologischer Sicht</b> <b>(E. Reijnen &amp; L. Laasner).....</b>	<b>44</b>
5.1 Wahrnehmung .....	45
5.2 Aufmerksamkeit .....	47
5.2.1 Definition.....	47
5.2.2 Was braucht Aufmerksamkeit?: Merkmale vs. Objekte .....	48
5.2.3 Begrenzung der Aufmerksamkeit: Raum vs. Zeit .....	49
5.2.4 Aufmerksamkeitslenkung.....	50
5.2.5 Geteilte Aufmerksamkeit.....	53
5.2.6 Trainieren der Aufmerksamkeit.....	55
5.3 Priming .....	56
5.4 Empfehlungen aufgrund wahrnehmungspsychologischer Befunde .....	57
<b>6. Bewertung von Chancen und Risiken</b> <b>(M. Hackenfort).....</b>	<b>59</b>
<b>7. Hypothesen zum gesetzgeberischen Handlungsbedarf in</b> <b>der Schweiz (M. Hackenfort) .....</b>	<b>62</b>
<b>Anhang A. Literaturverzeichnis .....</b>	<b>65</b>

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Screenshot aus einem Werbevideo zum Produkt Google Glass.....	2
Abbildung 2: Beispiel eines HUD mit konformer Symbolik .....	20
Abbildung 3: Beispiel eines HUD mit nicht-konformer Symbolik .....	21
Abbildung 4: Darstellung der Smartphone-Applikation «Foot-LITE», welche in Echtzeit Fahrsicherheitsparamter an den Fahrer gibt .....	31
Abbildung 5: Erkennungsrate im peripheren Blickfeld erscheinender Reize in Abhängigkeit von der Untersuchungsbedingung.....	33
Abbildung 6: Herzratenvariabilität als Stressindikator sowie die prozentuale Häufigkeit der übersehenen Signale im peripheren Blickfeld jeweils mit und ohne dem aktivierten Fahrassistentensystem, welche vor, während und nach Stau bestimmt wurden.....	34
Abbildung 7: Versuchsaufbau der Simulatorfahrten in Abhängigkeit der Gewöhnung – aufgrund der wiederholten Durchführung über drei Tage –, der Verkehrsdichte, der Aufgabe sowie der Aufgabenschwierigkeit.....	35
Abbildung 8: Prozentuale Verteilung der Blicke auf die verschiedenen Aufmerksamkeitsquellen.....	36
Abbildung 9: Prozentualer Anteil der Beeinträchtigungen während der Autofahrt aufgrund verschiedener fahrzeuginterner Ablenkungsquellen.....	41
Abbildung 10: Adam fragt: «Want to meet for coffee?» .....	44
Abbildung 11: Links das Originalbild von einer Kamera aufgenommen. Rechts das Bild, wie es unser Augenhintergrund registriert, wenn mit dem rechten Auge das x fixiert wird.....	47
Abbildung 12: Zusammenhang von Aufmerksamkeit und Bewusstsein .....	48
Abbildung 13: links: Eine Abfolge von Stimuli in einem RSVP-Paradigma. rechts: Prototypisches Ergebnis der Erkennungsrate von Z2 in Prozenten, wenn Z1 richtig erkannt wurde.....	50
Abbildung 14: Ein Warnsignal, das vor möglichem Einschlafen warnt .....	57

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Ablenkungsquellen und deren Ressourcenbelastung für Fahrzeuglenkende gemäss Artho et al. (2012). Die Werte entsprechen der Skalierung von 1= keine Beanspruchung bis 100= maximale Beanspruchung.....	30
Tabelle 2: Aufgaben, die in der «Ivis-Task» Bedingung von den Probanden zu lösen waren.....	32
Tabelle 3: Anzahl von Unfällen während der Durchführung der benannten ablenkenden Tätigkeiten im Zeitraum Januar-November 1999 in Japan .....	39
Tabelle 4: Veränderung der Reaktionszeiten in Abhängigkeit der Ausführung unterschiedlicher Nebenaufgaben gemäss einer Meta-Analyse.....	39

# 1. Einführung (M. Hackenfort)

Digitale Brillen, deren prominenteste Vertreterin wohl *Google Glass* sein dürfte, stehen an der Schwelle, ein verbreitetes Konsumentenprodukt zu werden – spätestens dann, wenn sich das System auch mit vorhandenen Brillen kombinieren lässt. Als erweitertes Display eines Smartphones versprechen solche Systeme, Informationen «auf einen Blick» quasi nebenbei zu präsentieren, spontan Bilder und Filme der eigenen Umgebung festzuhalten und persönliche Textnachrichten ad hoc lesen und beantworten zu können. Die Integration ortsbezogener Informationen ermöglicht darüber hinaus – neben der Abbildung von Navigationsinformationen – den Einbezug lokaler Informationen, beispielsweise zu Sehenswürdigkeiten oder zu in der nahen Umgebung verfügbaren Produkten.

Es dürfte nicht unwahrscheinlich sein, dass die Nutzung von digitalen Brillen auch während der aktiven Teilnahme am Strassenverkehr stattfindet, was folglich einen Einfluss auf das Verhalten im Strassenverkehr impliziert. Zu klären ist, welche Qualität diese Einwirkung besitzt und ob in der Gesamtbilanz von einer eher positiven oder negativen Wirkung auf die Verkehrssicherheit zu erwarten ist. Der Blick richtet sich dabei vorwiegend auf allfällige Effekte in der Rolle als Fahrzeuglenkende, Ableitungen mit Bezug auf den Langsamverkehr sind – eingeschränkt – jedoch möglich.

Zunächst wird im ersten Abschnitt geklärt, welche Bezeichnungen voneinander abzugrenzen sind, wie sich verschiedene Systeme kategorisieren und deren Einsatzgebiete abstecken lassen.

Es folgt eine (verkehrs-)psychologische Analyse der Wirkung digitaler Brillen. Studien werden ausgewertet, die sich direkt mit digitalen Brillen auseinandersetzen. Dabei wird sich zeigen, dass die aktuelle Befundlage vermutlich zu dünn ist, um daraus klare Schlüsse abzuleiten. Aus diesem Grund wird der Bogen gespannt zu Head-Up Displays (HUD), die Informationen beispielsweise auf die Windschutzscheibe eines Fahrzeugs projizieren und die in vielen Punkten hinsichtlich ihrer Wirkung vergleichbar mit digitalen Brillen sind. Auf den systematischen Einbezug von Befunden des Einsatzes digitaler Brillen in Flugzeugen (beispielsweise zur Verminderung von Unfällen unter stark reduzierten Sichtbedingungen bei Hubschrauberpiloten; Knabl, Schmerwitz, Doeher, Peinecke & Vollrath, 2014) wird verzichtet, da diese Systeme stark auf den professionellen Einsatz zugeschnitten sind und daher nur sehr eingeschränkt vergleichbar sind mit den Geräten, die für den Konsumentenmarkt produziert wurden und noch werden.

Es bietet sich hingegen der Einbezug von Befunden zu visuellen Informationsquellen im Fahrzeug an, welche ebenfalls das Potenzial der Informationsgabe besitzen aber zugleich auch eine Ablenkungsquelle darstellen können. Schliesslich werden Befunde aus wahrnehmungspsychologischer Sicht einbezogen, die insbesondere zu klären verhelfen, welche kognitiven und hirnelektrischen Einflüsse auf das Blickverhalten spontan im Sichtfeld auftretende Informationen besitzen.

Die beiden anschliessenden Abschnitte komprimieren die wesentlichen Befunde und umfassen eine Bewertung von Chancen und Risiken bei der Verwendung digitaler Brillen im Strassenverkehr und beantworten die Frage, ob eine entsprechende Nutzung national und international rechtlich zulässig ist. Diese vom Schweizerischen Institut für Rechtsvergleichung erstellte Analyse umfasst die Bewertung der gesetzlichen Grundlagen in der Schweiz, den US-Bundesstaaten Kalifornien und West Virginia sowie den Ländern Deutschland, Frankreich und Grossbritannien.

## 1.1. Definition, Abgrenzung und Nutzungsformen

Hinter der Bezeichnung Digitale Brillen lassen sich verschiedene Systeme subsumieren, die ebenfalls als Head-Up Displays, (optical oder peripheral) Head-Mounted Displays, Smart Glasses oder Digital Eye Glasses bezeichnet werden. Grundsätzlich handelt es sich bei den seit Ende der Sechziger Jah-

re des vergangenen Jahrhunderts erstmals entwickelten Systeme (Kress, 2015) um Durchsicht-Brillen, bei denen der Nutzer die Realumgebung weiterhin nahezu vollständig erblicken kann; allenfalls von der digitalen Brille dargestellte Informationen überlagern somit das real sichtbare Bild.

Insofern lassen sich Digitale Brillen beispielsweise von anderen Systemen abgrenzen, die auf dem Kopf getragen werden: z.B. Videobrillen, virtuelle Brillen oder als Augmented Reality Overlay bezeichnete Geräte. Bei diesen schaut man auf einen oder zwei Monitore, die zwar allenfalls die Realumgebung abbilden, eine Durchsicht jedoch nicht ermöglichen.

In der Regel werden die abzubildenden Informationen bei Digitalen Brillen (im Folgenden als Peripheral Head-Mounted Display, kurz: PHMD bezeichnet; Matthies, Haescher, Alm & Urban, 2015) am Rand der Fovea Centris – also dem Bereich des schärfsten Sehens – angeordnet, was einer Abweichung von rund 15° sowohl nach oben als auch nach rechts des zentralen Blickfelds entspricht. Das dabei generierte Bild hat typischerweise ein 16:9-Verhältnis und eine Auflösung von 640 zu 360 Bildpunkten, je nach Einsatzzweck sind auch Produkte mit einem Seitenverhältnis von 4:3 und 640 zu 480 Bildpunkten erhältlich. Das projizierte Bild kann dabei so konfiguriert werden, dass es vom menschlichen Auge wie Objekte in 3.5 Meter Entfernung fokussiert werden kann (Google Inc., 2016). Darüber hinaus ermöglichen manche Systeme die Berücksichtigung der Kopfhaltung, weshalb Informationen im Display je nach Programmierung erst dann ins Bild rücken, wenn der Kopf auf einen relevanten Punkt ausgerichtet wird (s. Abbildung 1).



Abbildung 1: Screenshot aus einem Werbevideo zum Produkt Google Glass. Oben rechts im Bild ist das von einem Smartphone generierte überlagerte Bild zu erkennen, das im vorliegenden Fall Navigationsinformationen für den Nutzer bereit hält.

Primäres Ziel von PHMD ist es, den realen Sichthintergrund mit zusätzlichen Informationen anzureichern. Wie beim vermutlich bekanntesten Modell, Google Glass, können so beispielsweise eingehende Nachrichten, Routenempfehlungen, Filme, Bilder usw. dynamisch sowie statisch dargestellt werden. Dazu notwendig ist – neben der Brille selbst – ein weiterer tragbarer Computer; in der Regel dürfte dies ein Smartphone sein, das mittels der Nahfunktechnik Bluetooth verknüpft ist. Als weitere Möglichkeit zur Eingabe von Informationen ins PHMD stehen je nach Modell Spracheingabe, Touchpad (z.B. berührungsempfindliche Bügel der Brille), Gestenerkennung (z.B. Kopfnicken) oder – zurzeit noch eher selten verwendet – eine Blickerfassung zur Verfügung.

Neben Google/Alphabet gibt es zahlreiche weitere Hersteller von entsprechenden Displays, z.B. Sony, IBM, Olympus, Brother, Microsoft, Fraunhofer COMEDD. Vor dem Hintergrund dieser Vielfalt zeigen sich oft in Abhängigkeit vom jeweiligen Hersteller Unterschiede hinsichtlich der anvisierten Einsatzgebiete. Systeme, die den allgemeinen Konsumentenmarkt bedienen, dienen oft neben den oben bereits beschriebenen Möglichkeiten als ein erweitertes Display des Smartphones, das wiederum eine entfernte Bedienung des Smartphones ermöglicht, beispielsweise als Digitalkamera, zum Lesen

und Verfassen von Nachrichten usw.

Der Einsatz in professionellen Bereichen bezieht sich primär auf die Verwendung als mobiler Computer etwa zum Aufruf von Maschinen-Wartungsinformationen. Darüber hinaus finden sich ebenfalls Anwendungsformen im medizinischen (Haslam & Mafeld, 2016; MedicalXpress, 2013; Sanderson et al., 2008) und industriellen Kontext sowie in der Baubranche, Logistik und Warenwirtschaft. Darüber hinaus lassen sich weitere Bereiche identifizieren, wie die Nutzung in der militärischen Luftfahrt oder die wissenschaftliche Dokumentation (Laster Technologies, 2010).

Die Wirtschafts- und Beratungsgesellschaft Deloitte (Lee, Stewart & Calugar-Pop, 2013) geht davon aus, dass im Jahr 2020 weltweit über 100 Mio. PHMD verkauft werden:

*Consider that in 2014, billions of us will glance trillions of times at connected screens, from vast digital billboards to computer screens, and from car dashboards to smartphones. The addition of a tiny screen which is permanently in line-of-sight will complement the array of screens we already use: it may enable some of us to stay permanently updated with the ows of information we crave. (S. 10)*

Den Haupteinsatzzweck sehen die Autoren in denjenigen Momenten, in denen die Hände des Nutzers für andere Aufgaben befreit werden sollen, beispielsweise im Rahmen der Navigation, dem Aufnehmen von Fotos und Videos oder zur Echtzeit-Analyse von eigenen Leistungsdaten im Sport. Dabei gehen die Verfasser ferner davon aus, dass Einschränkungen aufgrund der geringen Grösse des dargestellten Bildes oder der limitierten Batteriekapazität von den Anwendern genauso akzeptiert werden, wie das zurzeit noch sehr auffällige Erscheinungsbild der Brille.

Letztlich verweisen Lee et al. (2013) jedoch auch darauf, dass in bestimmten Bereichen Nutzungseinschränkungen zu erwarten sind, in denen schon jetzt Verbote für die Benützung von Mobiltelefonen gelten, beispielsweise in Schulen, Gerichten oder auf Golfplätzen. Zudem halten sie es für unwahrscheinlich, dass die Nutzung von PHMD während der Autofahrt erlaubt wird:

*Smart glasses are unlikely to be allowed when driving. In some jurisdictions, current laws make it explicitly illegal to have a monitor capable of displaying video in the field of view of a driver. It is not necessary for the police to prove that the driver was watching video instead of the mapping function: merely wearing a device with the capability is against the law. (S. 12)*

Worauf die Autoren nicht explizit verweisen ist, dass zusätzlich davon ausgegangen werden kann, dass Bedenken im Hinblick auf den Datenschutz zu weiteren Einschränkungen führen könnten. Insbesondere aufgrund der Tatsache, dass eine permanente Video-Aufnahme des Geschehens im Umfeld des Brillenträgers möglich ist, ist in Abhängigkeit von den jeweils geltenden Datenschutzgesetzen und Gepflogenheiten mit Restriktionen zu rechnen.

Kress (2015) geht davon aus, dass PHMD noch umfassend weiterentwickelt werden könnten: Demnach folgen den vorhandenen Head-Up- und Head-Mounted Displays Systemkomponenten, die in Kontaktlinsen, implantierten intraocularen Linsen und Netzhautimplantaten integriert werden können. Aspekte, die die Geschwindigkeit der Entwicklung entscheidend beeinflussen könnten, sieht der Autor im Umfang der Perfektionierung der Bildqualität, der dazu notwendigen Komponenten sowie der zuweilen vorhandenen Übelkeit, die insbesondere beim Tragen von Nicht-Durchsicht-Systemen bei den Nutzern entstehen kann.

## 1.2. Kategorisierung vorhandener Systeme

Zu unterscheiden sind mit Blick auf den Einsatz von PHMD in Fahrzeugen fest in die Fahrzeugelektronik integrierte PHMD von solchen, die nicht mit dem Fahrzeug gekoppelt sind. Diese Differenzierung von integrierten und nomadischen Geräten bedingt – in gleicher Weise wie bei Informations- und Kommunikationssystemen; s. Kap. 3.4. – wesentliche Schlussfolgerungen für die Art der Informationen, die durch eine Digitale Brille dargestellt werden. Da noch kein Fahrzeughersteller eine tiefgreifende Integration solcher Systeme in Serienreife vorgenommen hat, kann sich die Abschätzung der allfälligen Folgen nur auf Hypothesen beschränken.

Es ist grundsätzlich davon auszugehen, dass in die Fahrzeugelektronik integrierte PHMD mehr Möglichkeiten bieten können. Diese erstrecken sich beispielsweise auf die Darstellung sicherheitsrelevanter Hinweise, wie eine Warnung aufgrund der Aktivierung des elektronischen Stabilitätsprogramms, dem Nachlassen des Luftdrucks in einem oder mehreren Pneus oder einer Warnung vor einem leeren Kraftstofftank. In Abhängigkeit von den im Fahrzeug verbauten Informations- und Assistenzsystemen kann die Integration von PHMD jedoch noch weit darüber hinaus gehen. Beispielsweise könnte beim Vorhandensein eines Nachsichtsystems die Information über einen vom System erkannten, sich am Strassenrand befindlichen Fussgänger frühzeitig auf das Display der digitalen Brille projiziert werden. Dies würde idealerweise sogar in Abhängigkeit der Kopfhaltung überlagernd an genau der Stelle erfolgen, an der der Fussgänger für den Fahrzeuglenkenden – noch – nicht sichtbar ist. In gleicher Weise könnten Kollisionswarnsysteme durch visuell entsprechend gut aufbereitete Informationen die Aufmerksamkeit der fahrführenden Person deutlich schneller auf das allfällige Kollisionsobjekt lenken als dies eine entsprechende Warnung in den Fahrzeugdisplays vermag – auch und insbesondere, weil die Hinweise innerhalb des Displays der digitalen Brille die Kopfhaltung und -bewegung berücksichtigen und dadurch besser lenken können. Systeme, die Car-to-Car- oder Car-to-X<sup>1</sup>-Informationen bereitstellen, ermöglichen eine frühzeitige und gezielt in den Bewegungsablauf des Fahrers integrierte Präsentation von ansonsten nicht sichtbaren Aspekten der Verkehrsumgebung, beispielsweise ein auf dem Randstreifen stehender Lastwagen oder ein unerwarteter Staus mehrere hundert Meter vor dem Ego-Fahrzeug.

Wie in Kapitel 2.3. im Kontext der Luftfahrt mit Bezug zu HUD dargestellt wird, besitzen visuelle Informationen, die das reale Bild mit relevanten Zusatzhinweisen überlagern, insbesondere in zeitkritischen Situationen einen hohen Sicherheitsgewinn. Dazu notwendig ist jedoch eine enge Kopplung mit im Fahrzeug bereits vorhandenen Sicherheitssystemen, die insbesondere – oder ausschliesslich – von herstellergebundenen PHMD zu erwarten ist. Entsprechende Systeme können darüber hinaus einen weiteren Vorteil bieten: Da Fahrparameter in die Steuerung der visuellen Informationen der PHMD integriert werden können, ist eine Fahr- und zuweilen sogar eine Fahrer-Zustandserkennung möglich. Konkret bedeutet dies unter anderem, dass die Darstellung nicht fahrrelevanter Informationen unterbunden werden kann während das Fahrzeug in Bewegung ist. Alternativ können bestimmte Hinweise und (Navigations-)Informationen unterdrückt werden, solange beispielsweise der Fahrer in komplexen Umgebungen – etwa im Bereich von Kreuzungen oder Fussgängerstreifen – unterwegs ist.

Im Gegensatz dazu ist bei fahrzeugherstellerungebundenen PHMD eine solche auf Umwelt- oder Fahrereinflüsse reaktionsfähige Darstellung von Hinweisen und Informationen nur sehr eingeschränkt denkbar. Es kann daher angenommen werden, dass unabhängig von Parametern der aktuellen Fahrt

---

<sup>[1]</sup> X steht stellvertretend für die Verkehrsinfrastruktur sowie andere Verkehrsteilnehmende, wie Radfahrende und Fussgänger.



sämtliche Informationen dargestellt werden. Zwar ist davon auszugehen, dass dies bei nomadischen Geräten in erster Linie Navigationsinformationen sind. Je nach Hintergrund des Systemherstellers könnten dies – neben der Einblendung von Textnachrichten als erweitertes Display eines Smartphones – auch ortsbezogene Werbehinweise sein. Die Möglichkeit dessen, was im nomadischen PHMD dargestellt werden kann, betrifft somit nicht oder nur sehr eingeschränkt sicherheitsrelevante Daten; Beschränkungen bei der Darstellung visueller Informationen sind ferner nur vergleichsweise schwer zu realisieren bzw. hängen von allfälligen Selbstbeschränkungen der Hersteller ab. Konkret beispielsweise wäre schon das Unterbinden der Wiedergabe von nicht fahrrelevanten Informationen während der Fahrzeugführung technisch deutlich schwerer zu realisieren – sofern eine solche Restriktion von Seiten der Hersteller überhaupt erwünscht wäre.

Mit Bezug auf die Teilnahme am Langsamverkehr, beispielsweise als Velofahrer oder Fussgänger, bietet sich die oben verwendete Betrachtungsweise mangels Herstellerbindung bzw. damit zusammenhängender Einsatzmöglichkeiten nur teilweise an. Was somit bleibt, sind Bezüge zu Möglichkeiten und Grenzen von nomadischen PHMD in Fahrzeugen, die nur sehr eingeschränkt sicherheitsrelevante Informationen bereitstellen können und statt dessen auf die Darstellung von u.a. Navigationshinweisen, ortsbezogenen Informationen und persönlichen Textnachrichten im Sinne eines erweiterten Displays des Smartphones limitiert sind. Dies impliziert sehr ähnliche Wirkungsfolgen, wie sie im Kontext der Nutzung in Fahrzeugen bereits skizziert worden sind und die in den folgenden Abschnitten auf Basis vorliegender Studienergebnisse systematisch analysiert werden.

### **1.3. Weiterführung**

Welche Wirkung besitzen PHMD insbesondere dann, wenn sie parallel zu einer primären sicherheitsrelevanten Aufgabe, beispielsweise während der Teilnahme am Strassenverkehr, genutzt werden? Befunde in engem Zusammenhang zu PHMD werden ebenso in die Analyse einbezogen wie Analysen von technisch verwandten HUD. Aufschluss über die positiven und negativen Wirkungen kann auch die Integration von Erkenntnissen zu visuellen Informationsquellen im Fahrzeug sowie die Berücksichtigung einschlägiger Erkenntnisse im Feld der Wahrnehmungspsychologie geben, die ebenfalls in den folgenden Abschnitten berücksichtigt sind.

## **2. Studienergebnisse zu PHMD (M. Hackenfort)**

Zur Wirkung von PHMD im Strassenverkehr sind bislang nur sehr wenig Studien veröffentlicht worden. Das hängt einerseits damit zusammen, dass die Verbreitung entsprechender Systeme nur sehr eingeschränkt ist – beispielsweise erhielten nur registrierte Entwickler Zugriff auf das prominenteste System Google Glasses. Andererseits ist eine systematische Wirkungsanalyse aufwändig, da eine Folgenabschätzung idealerweise in realer oder realitätsnaher Umgebung, etwa in einem technisch fortgeschrittenen Fahrsimulator, durchgeführt wird.

### **2.1. Robbins & Jenkins, 2015**

In einem Review der vorliegenden Literatur sowie einer Naturalistic Driving Study – einer Studie, die in der Realumgebung, also im Fahrzeug während einer normalen Autofahrt, durchgeführt wurde – stellten Robbins & Jenkins (2015) wesentliche Befunde zu PHMD (speziell: Google Glass) zusammen.

Zunächst grenzen die Autoren ein, dass das Potenzial von PHMD einerseits in der Chance auf einer geringeren Ablenkung liegt, da solche Systeme meistens per Spracheingabe gesteuert werden können und die dargebotenen Informationen leicht zugänglich – weil am Rande des Blickfelds befindlich – sind. Andererseits sehen sie aber auch ein gesteigertes Risiko aufgrund erhöhter Ablenkung infolge undeutlicher Darstellungen, aufgrund der vereinfachten Zugänglichkeit von Inhalten – etwa Textnachrichten – oder durch die Präsenz Sozialer Medien. Insbesondere infolge ihrer Funktion als erweitertes Display des Smartphones wird von Robbins & Jenkins (2015) ein hohes Ablenkungspotenzial erwartet – da die Neigung zum Lesen und Schreiben von Textnachrichten ohnehin in hohem Masse bestehe und dies schon jetzt negative Folgen für die Verkehrssicherheit habe.

Darüber hinaus verweisen die Autoren auf die Gefahr von kognitiven Interferenzen, die sich aufgrund der parallelen Beschäftigung mit mehreren Aufmerksamkeitszielen ergeben könnten, was ebenfalls dann anzunehmen ist, wenn verschiedene Wahrnehmungskanäle – z.B. auditive und visuelle Informationen – zugleich betroffen sind. Eine Folge der zeitgleichen Beschäftigung mit mehreren Informationsquellen ist der so genannte Tunnelblick, aufgrund dessen Dinge im peripheren Blickfeld deutlich weniger wahrgenommen werden. Vor diesem Hintergrund vermuten die Autoren mögliche Vorteile eines PHMD, da auf diesem Weg – im Gegensatz zum Armaturenbrett im Fahrzeug – Informationen näher am zentrierten Sichtfeld präsentiert werden können und daher mit einer erhöhten Wahrscheinlichkeit auch wahrgenommen werden könnten.

Robbins & Jenkins (2015) kommen aufgrund des Studiums entsprechender Quellen zu dem Schluss, dass PHMD das Risiko der Ablenkung in Abhängigkeit von der mit der Fahrt konkurrierenden Aufgabe senken oder steigern könnten: Werden Informationen im PHMD dargestellt, die sicherheitsrelevant oder der Erleichterung der Lenkens dienlich sind, ist von einem Sicherheitsgewinn auszugehen; wird allerdings der Zugang zu Fahrt-irrelevanten Informationen ermöglicht, muss eine Erhöhung des Risikos angenommen werden.

Sowohl in diesem Beitrag wie auch in zahlreichen anderen, noch zu benennenden Studien im Kontext von HUD, wird auf die Gefahr der kognitiven Gefangennahme («cognitive capture» bzw. «attention capture») hingewiesen. Dem zufolge verweilt der Blick länger als nötig auf den im PHMD dargestellten Informationen, beispielsweise aufgrund der «Kosten», die ein Aufmerksamkeitswechsel zwischen der Umgebung, den Fahrzeugarmaturen und dem PHMD hervorruft. Dieser Effekt verstärkt sich abhängig von der Komplexität der im PHMD dargestellten Informationen nochmals deutlich.

Im Rahmen der experimentellen Analyse der Wirkungen von PHMD – verwendet wurde das System

Google Glass – wurden 16 Probanden gebeten, je drei Fahrten auf öffentlichen Strassen zu absolvieren. Dabei wurden Navigationsinformationen auf drei verschiedenen Wegen dargestellt: verbale Anweisungen durch einen Fahrlehrer, visuelle Anweisungen auf einem Smartphone sowie visuelle Anweisungen auf dem PHMD. Als abhängige Variablen wurde die Fahrqualität anhand der Wiener Fahrprobe (Chaloupka & Risser, 1995) gemessen. Diese umfasst Bewertungen u.a. zur Einhaltung und Adaption einer angemessenen Geschwindigkeit, einer adäquaten Spurnutzung und -haltung sowie eines angemessenen Abstands zu anderen Verkehrsteilnehmenden. Ferner wird die Angemessenheit des Fahrverhaltens in Relation zu schwächeren Verkehrsteilnehmenden durch geschultes Personal beurteilt. Weiterhin wurden subjektive Einschätzungen zum Erleben der drei Fahrten erhoben.

Im Ergebnis stellen Robbins & Jenkins (2015) mit Bezug auf allfällige Fahrfehler fest, dass sich einzig das korrekte Setzen des Blinkers in Abhängigkeit der drei verschiedenen Methoden zur Darbietung der Navigationsmethoden unterschied: Nutzer einer Google Glass-Brille nutzten signifikant seltener den Blinker auf eine korrekte Weise.

Mit Blick auf die Einschätzungen zum Erleben der drei Fahrten wurde die verbale Navigationsanweisung als die einfachste, Google Glass als die am anspruchsvollste Möglichkeit angegeben. In gleichem Sinne wurde das PHMD als unangenehmste, ablenkendste und zugleich unsicherste Variante bezeichnet. Signifikant gegenüber der verbalen Darstellung der Routenempfehlungen wurde die PHMD-Variante als am stärksten belastend bezeichnet, was aufgrund der subjektiv beurteilten mentalen, physischen und temporären Belastung und der mit dem jeweiligen System ausgelösten Frustration zusammenhing.

Deutliche Unterschiede zeigten sich darüber hinaus im Rahmen der Anzahl fehlerhafter Abbiegevorgänge. Gegenüber verbalen Routeninformationen (2 falsche Abbiegungen) führten visuelle Informationen auf dem Smartphone-Bildschirm (22) und dem PHMD (28) zu signifikant mehr Fahrfehlern.

Die Autoren weisen darauf hin, dass ein Teil der Probleme auch durch technische Schwierigkeiten ausgelöst worden sein könnten. Demnach sorgten Überhitzungen, Verluste der Funkverbindung, Einfrieren des Systems, Softwarefehler und verlangsamte Aktualisierungen der Routenempfehlung für Systemausfälle. Weiterhin erwies sich die von der Google Glass verwendete Technik zur Tonübertragung – Knochenschall, bei dem Töne über Schwingungen auf die Schädelknochen transferiert werden – als mit deutlichen Einschränkungen verbunden.

Gesamthaft kommen Robbins & Jenkins (2015) daher zu dem Schluss,

*«...that smart glasses can potentially be used safely for navigation, but that users do not enjoy the experience at present: they feel less safe and more distracted than when using a traditional satnav.» (S. 56)*

Sie halten deshalb eine Weiterentwicklung der Google Glass für unabdingbar, damit die Verwendung einer PHMD während der Fahraufgabe einen wichtigen Beitrag leisten kann.

## **2.2. Young, Stephens, Stephan & Stuart, 2015 & 2016**

Im Rahmen einer Simulatorstudie untersuchten Young, Stephens, Stephan & Stuart (2015; 2016) die Wirkung der Google Glass auf die Leistungsfähigkeit während der simulierten Autofahrt. 20 Personen im Alter von durchschnittlich 32.2 Jahren (SD=6.3 Jahre) wurden gebeten, einen 300 Wörter langen Text über eine Dauer von maximal drei Minuten laut vorzulesen. Variiert wurde dabei die Art der Darstellung: Neben der Visualisierung des Texts über das PHMD wurde er alternativ auf einem Smartphone präsentiert, das in der Mitte der Fahrzeugarmatur (etwa 9° vom zentralen Blick entfernt) ange-

bracht worden war. In zwei Kontrollbedingungen war keine Nebenaufgabe zu erledigen, wobei in einem Durchgang Google Glass dennoch getragen wurde.

Gemessen wurde die Leistungsfähigkeit während der Fahrt im Rahmen des so genannten Lane Change Tests, bei dem sich der Fahrer auf einer dreispurigen, geradeaus geführten Fahrbahn bei einer Geschwindigkeit von 60 km/h ohne andere Verkehrsteilnehmende befindet, auf der ca. alle 150 Meter gemäss am Fahrbahnrand platzierter Hinweisschilder 18 Mal die Spur zu wechseln ist. Als abhängiges Mass wurde die Spurhaltungs- und -wechselqualität analysiert sowie eine Befragung zur Bestimmung der Belastung durch die Fahrt durchgeführt.

Die Auswertung der Daten zeigte einen signifikanten Einfluss der vier Untersuchungsbedingungen auf die Spurhaltung: Die Abweichungen von der Ideallinie innerhalb einer Fahrspur waren in den Bedingungen, in denen der Text zu bearbeiten war, signifikant höher. Dabei spielte es keine Rolle, ob der Text vom Display des Smartphones oder vom PHMD abgelesen wurde. Jedoch wurden in letztgenannter Bedingung die meisten Fehler bezüglich der Anzahl korrekter Spurwechsel verzeichnet, was insbesondere dem Übersehen – und nicht der falschen Interpretation – der entsprechenden Schilder geschuldet war.

Verbesserte sich dafür die Leistung bei der Nebenaufgabe, also hinsichtlich der Anzahl korrekt gelesener Wörter? Zunächst wurde ein signifikanter Unterschied bei der Anzahl bearbeiteter Wörter verzeichnet in Abhängigkeit davon, ob dies während des Fahrens geschah oder im Stillstand: Demnach wurden bis zu einem Drittel weniger Wörter verarbeitet. Während keinerlei Unterschiede zwischen den beiden Display-Bedingungen während des Stillstands festgestellt werden konnten, unterschieden sie sich während der simulierten Fahrt signifikant. Demnach wurden – relativ zum Ablesen des Textes vom Smartphone-Display – 17% mehr Wörter in der PHMD-Bedingung bearbeitet. Die Auswertung der Fehler bei der Bearbeitung der Texte bestärkte die Analyse dahingehend, dass – während der simulierten Fahrt – mehr Fehler beim Ablesen vom Smartphone geschahen als vom PHMD. Zugleich wurde die Bearbeitung der Nebenaufgabe von den Probanden als einfacher wahrgenommen, was die Nutzungshäufigkeit gegenüber einem selbst am Armaturenbrett montierten Smartphone nochmals erhöhen könnte.

Die Autoren kommen zu dem Schluss, dass kognitive Interferenzen für die verringerten Fahrkompetenzen ursächlich sein könnten, sehen allerdings weiteren Forschungsbedarf, um diese mögliche Ursache von manuellen Interferenzen abgrenzen zu können; letzteres würde bei Systemen mit Spracheingabe zu Vereinfachungen führen. Als weitere mögliche Ursache für übersehene Verkehrsschilder in der Simulation, die zu Spurwechsel aufforderten, sahen Young et al. (2016) Blickhindernisse beispielsweise aufgrund des Bügels der digitalen Brille an.

### **2.3. Sawyer, Finomore, Calvo & Hancock, 2014**

Ob das Schreiben von Nachrichten mithilfe eines PHMD (verwendet wurde Google Glass) gegenüber einem Smartphone-Display Vor- oder Nachteile besitzt, untersuchten Sawyer, Finomore, Calvo & Hancock (2014). Dabei wurden die Teilnehmenden des Simulatorexperiments zudem mit einem unerwarteten Ereignis – spontanes Bremsen eines vorausfahrenden Fahrzeugs – konfrontiert, im Rahmen dessen sowohl die Reaktion als auch die Dauer bis zur Wiederaufnahme einer angemessenen Fahrt evaluiert wurde.

Die Autoren verweisen zunächst auf theoretisch anzunehmende Vorteile von PHMD gegenüber der Verwendung von Smartphones während einer Autofahrt, beispielsweise zum Schreiben von Textnachrichten. Letzteres sehen sie mit starken negativen Folgen belastet, beispielsweise überanspruchten Fahrzeugführenden, deren Spurhaltung und Reaktionszeiten sich verschlechtern und welche zur Ver-

hinderung von Auffahrunfällen grössere Abstände bei Folgefahrten einhalten. Mit Bezug zu HUD verweisen Sawyer et al. (2014) jedoch auch auf drohende negative Folgen, die sich insbesondere in unerwarteten Situationen und während hoher kognitiver Belastung zeigen. In diesem Sinne warnen sie mit Verweis auf Strayer, Drews & Johnston (2003), dass

*...watching the roadway does not mean a distracted driver will react to events that occur on it.* (S. 1308).

Sie führen dies darauf zurück, dass – selbst wenn die Nutzung eines PHMD die für die Aufmerksamkeit notwendigen Ressourcen aufrecht erhält – der Einfluss eines übermässigen Informationseinflusses nicht verringert werden kann.

In diesem Kontext gehen Sawyer et al. (2014) davon aus, dass sich eine überhöhte kognitive Belastung auch darin zeigt, dass die Rückkehr zu einer normalen Beherrschung eines Fahrzeugs nach einem kritischen Ereignis vergleichsweise lange dauert, was wiederum die Anfälligkeit für erneute Instabilitäten hinsichtlich einer sicheren Fahrt aufrecht erhält.

Mithilfe von 40 Probanden wurde in einer Versuchsanordnung ähnlich einem Lane Change Test in einem Simulator die Qualität des Spur(wechsel)verhaltens untersucht. Dabei wurde eine Teilgruppe («Nur-Fahren»), die keine Nebenaufgabe erhielt, mit der plötzlichen und starken Bremsung eines vorausfahrenden Fahrzeugs konfrontiert. Eine weitere Teilgruppe («Multitasking») erhielt zusätzlich kurz vor der Bremsung eine Mitteilung, welche über das Smartphone-Display oder das PHMD dargestellt wurde und vorzulesen sowie zu beantworten war.

Als abhängige Variablen, welche Aufschluss über die Fahrqualität geben sollten, wurden mehrere Masse eingesetzt:

- die Spurhaltung, operationalisiert über die Standardabweichung von der lateralen Position (SDLP)
- die Durchschnittsgeschwindigkeit bzw. deren Abweichung von den vorgegebenen 45 mph (72 km/h)
- der durchschnittliche Abstand zum Vorderfahrzeug

Darüber hinaus evaluierten die Autoren die Rückkehr zu einer normalen Beherrschung des Fahrzeugs, indem während drei Phasen das Verhalten anhand von zwei Variablen differenziert wurde:

- Als «Hybrid Response Time» (HRT; Sawyer & Hancock, 2013) wurde die Zeit definiert, die beginnend von der Bremsung des Vorderfahrzeugs bis zur ersten Reaktion des Probanden verstrich.
- Darüber hinaus wurde die minimale «Time-to-Collision» (TTC) bzw. Zeit bis zum Aufprall bestimmt, indem der minimale Abstand zum vorausfahrenden Fahrzeug durch die Geschwindigkeitsdifferenz beider Fahrzeuge dividiert wurde.

Die Resultate im Hinblick auf HRT und TTC zeigten lediglich einen Haupteffekt hinsichtlich des Faktors Fahrmodus. Demnach reagierten die Probanden in der Multitasking-Bedingung langsamer und mit geringeren Abständen.

Aufgrund einer signifikanten Interaktion zwischen Art des genutzten Geräts, Fahrmodus und Fahrphase schliessen Sawyer et al. (2014) mit Blick auf die Spurhaltung auf eine vergleichsweise ungünstige Wirkung des PHMD in der Nur-Fahren-Bedingung während der Erholungsphase nach dem kritischen Ereignis. Umgekehrte Effekte, also eine bessere Spurhaltung bei Nutzern des PHMD gegenüber dem Smartphone, traten hingegen in der Multitasking-Bedingung auf.

Darüber hinaus wiedererlangten Nutzer des PHMD nach dem kritischen Ereignis schneller die zu erreichende Geschwindigkeit, wobei Smartphone-Nutzer grössere Abstände in der Erholungsphase wählten. Schliesslich konnten die Autoren hinsichtlich der untersuchten Fahrparameter in beiden Multitasking-Bedingungen niedrigere, von den Probanden gewählte Geschwindigkeiten sowie grössere

Abstände zum Vorderfahrzeug identifizieren, als dies in den Nur-Fahren Bedingungen der Fall war.

Während basierend auf subjektiven Belastungsparametern von den Probanden eine höhere physische Belastung durch die Nutzung des Smartphone-Displays angegeben wurde, kann insgesamt festgestellt werden, dass beide Geräte als weniger beanspruchend erlebt wurden, als es von den Probanden vorher vermutet worden war.

Sawyer et al. (2014) sehen somit während der Bearbeitung einer Textnachricht Vorteile einer PHMD gegenüber der Nutzung eines Smartphones im Hinblick auf die Fähigkeit zur Spurhaltung und führen dies primär auf die Möglichkeit zur Spracheingabe zurück – ein Befund, der, zumindest sofern er sich auf ein gut funktionierendes Spracherkennungssystem bezieht, mehrfach repliziert werden konnte (zusammenfassend s. He et al., 2014). Dass die PHMD-Nutzer nach dem kritischen Ereignis schneller zur Ausgangsgeschwindigkeit zurückkehrten, erklären Sawyer et al. (2014) mit einer geringeren Ablenkung durch das System.

Dennoch fassen die Autoren zusammen, dass beide Ablenkungsquellen die Fahrqualität negativ beeinflussten und daran auch ein verwendetes PHMD zu wenig ändert. Mit Blick auf die Zukunft wird allerdings PHMD mithilfe einer allenfalls erfolgenden Integration von vorhandenen Sensoren ein sicherheitsförderliches Potenzial beigemessen, beispielsweise im Rahmen von Müdigkeitserkennung oder der Identifikation von Aufmerksamkeitseinbrüchen.

## **2.4. Tippey, Sivaraj, Ardoin, Roady & Ferris, 2014**

Basierend auf einer Simulatorstudie, im Zuge derer verschiedene Strassenverkehrsszenarien zu durchfahren waren, sollte geprüft werden, in wieweit ein PHMD (verwendet wurde Google Glass) einen Einfluss bei der Bearbeitung von Textnachrichten während der Autofahrt erhöht oder senkt. Die Autoren berücksichtigen dabei insbesondere auch das Verfassen von Textnachrichten, das per se, jedoch noch zusätzlich aufgrund der bei Smartphones verwendeten nicht-haptischen Tastatur gegenüber physischen Tastaturen zu grösseren Blickabwendungen während der Autofahrt und damit zu einer weiteren Erhöhung des Unfallrisikos führt. Basierend auf ihrer Literaturanalyse verweisen sie jedoch auch auf Quellen, denen zufolge Systeme, die eine Spracheingabe ermöglichen, mit geringeren Ablenkungsfolgen verknüpft seien – selbst wenn auch dort längere Blickabwendungen zur visuellen Überprüfung beispielsweise des eingegebenen Texts notwendig seien.

Mit Blick auf – im vorliegenden Bericht im Kapitel 2.3 vertieft betrachteten – HUD erhoffen sich Tippey, Sivaraj, Ardoin, Roady & Ferris (2014) zwar sicherheitsrelevante Verbesserungen dadurch, dass die Verarbeitung von Textbotschaften nunmehr im Blickfeld realisiert werden können; dennoch befürchten sie, dass bekannte Nachteile von HUD auch bei PHMD eine Rolle spielen könnten: beispielsweise das Übersehen von Veränderungen in der Realumgebung (*change & inattentive blindness*).

Zur Überprüfung dieser Fragestellungen untersuchten die Autoren sieben Probanden, die vier Versuchsbedingungen durchlaufen mussten:

- eine Kontrollbedingung, bei der ohne weitere Nebenaufgabe zu fahren war,
- eine Experimentalbedingung, in der auf einem Smartphone-Display eine Nachricht erschien, die auf der Display-Tastatur (nicht-haptisch) beantwortet werden sollte,
- eine Experimentalbedingung, in der auf einem Smartphone-Display eine Nachricht erschien, die über das geräteeigene Spracherkennungssystem (*voice-to-text*) beantwortet werden sollte,
- eine Experimentalbedingung, in der auf einem PHMD eine Textnachricht erschien, die mithilfe des von der Brille bereitgestellten Spracherkennungssystems beantwortet werden sollte.

Im Rahmen der Fahraufgabe durchfahren die Probanden sechs verschiedene Fahrumgebungen, die

sich auf zwei verschiedene Auslastungsbedingungen verteilen. In der «low workload»-Bedingung beispielsweise wurde eine schwach befahrene Autobahnstrecke von knapp 4 km mit rund 100 km/h sowie ein Innenstadtquartier über eine Distanz von knapp einem Kilometer mit rund 65 km/h durchfahren. Die «high workload»-Bedingung bestand unter anderem aus einer Fahrt entlang einer durch Bauarbeiten geprägten kurvigen Strecke von 1.6 km bei 80 km/h sowie aus einer scharfen S-Kurve über 1.1 km, die mit einer Geschwindigkeit von knapp 50 km/h zu durchfahren war.

Als abhängige Fahrdaten wurden das Tempo allfälliger Lenkvorgänge bestimmt, darüber hinaus wurden Geschwindigkeiten, Kollisionen, Spurhaltung und Dauer gemessen, die die Probanden für die einzelnen Fahrumgebungen benötigten. Im Hinblick auf die Nebenaufgabe – das Verfassen einer Textantwort auf eine einfache Frage, die in Textform auf das jeweilige Display gebracht wurde – wurde überprüft, wie lange die Probanden benötigten, um die Antwort abzusenden; auch wurde die Länge der Antwort erfasst.

Gegenüber der Kontrollbedingung waren die Lenkbewegungen in zwei Experimentalbedingungen signifikant erhöht: Sowohl während die Probanden den Text per nicht-haptischer Display-Tastatur eingeben mussten als auch in der Spracheingabe-Bedingung verzeichneten die Autoren deutlich schnellere Lenkbewegungen; nicht jedoch in der PHMD-Bedingung.

Die Spurhaltung erwies sich als unterschiedlich in allen Bedingungen: Demnach waren die Schwankungen in der Smartphone-Tastatur-Bedingung signifikant grösser als in der Spracheingabe-Bedingung und der PHMD-Bedingung. Die gleichen Differenzen konnten auch für die Bearbeitungsgeschwindigkeit der Texte nachgewiesen werden.

Die Autoren kommen somit zu dem Schluss, dass die Möglichkeit zur Spracheingabe gegenüber dem manuellen Eingeben von Texten in ein Smartphone Vorteile verspricht. Darüber hinaus folgern sie:

*« Given the benefits observed from using Glass, even for novices, the findings of this preliminary study suggest Glass has the potential to support in-vehicle tasks with significantly less detrimental implications for driving performance and safety than manual and HDD interfaces. »* (Tippey et al., 2014, S. 2027)

Auch wenn diese Schlussfolgerungen nur zum Teil durch die Befunde abgedeckt sind, ist die Nutzung von PHMD gegenüber dem – unbestritten – sicherheitswidrigen Verhalten des Nachrichten Schreibens mit einem Smartphone während des Autofahrens auf Basis der Studienergebnisse wohl weniger nachteilhaft. Dennoch konnte kein Nachweis erbracht werden, dass sich die Sicherheit durch Nutzung einer PHMD erhöhen könnte.

## **2.5. Beckers, Schreiner, Bertrand, Reimer, Mehler, Munger & Dobres, 2014**

Im Rahmen ihrer im Jahr 2014 durchgeführten Studie untersuchten Beckers et al. die Wirkung eines PHMD relativ zu einem anderen System mit der Möglichkeit zur Spracheingabe sowie der Eingabe von Informationen über eine Display-Tastatur (« Touch »). Dabei sollten Navigationsinformationen eingegeben werden, was sich – gemessen an der von den Autoren analysierten Literatur – grundsätzlich als sicherheitsabträglich erwiesen hat. Analysiert wurde einerseits das PHMD – das System Google Glass – im Speziellen als auch die Systeme mit Spracheingabe im Allgemeinen darauf hin, ob diese weniger sicherheitsabträglich während des Lenkens wirkten als etwa die Bedienung eines Smartphones.

25 Probanden wurden daher gebeten, in einem Fahrsimulator eine Strecke auf einer Ausserortsstrasse bei einer Geschwindigkeit von 80 km/h zu durchfahren und dabei eine Postadresse per Touch- oder Spracheingabe an das System zu übergeben. Geprüft wurde, wie schnell die Probanden – so-

fern überhaupt – auf das unregelmässige Aufleuchten einer Leuchtdiode im zentrierten Sichtfeld des Ego-Fahrzeugs reagierten. Ferner wurde gemessen,

- wie schnell die Adresse eingegeben werden konnte,
- wie gross die Abweichungen von der einzuhaltenden Idealspur auf der Fahrbahn waren,
- wie gut die vorgegebene Geschwindigkeit eingehalten wurde sowie
- wie stark die Belastung aufgrund der jeweiligen Texteingabemethode eingeschätzt wurde.

Im Hinblick auf letzteres Mass konnte identifiziert werden, dass die (Sprach-)Eingabe mittels des PHMD zusammen mit der Spracheingabe per Smartphone als weniger belastend eingestuft wurde, als die Eingabe per Smartphone-Tastatur. Zumindest im Hinblick auf die Dauer der Eingabe der Adressen konnte auf Basis des PHMD die kürzeste Zeit verzeichnet werden: statt im Durchschnitt 24 Sekunden wurde für die Spracheingabe per Smartphone 28 Sekunden bzw. für die Touch-Eingabe 32 Sekunden benötigt.

Signifikante Unterschiede konnten auch betreffend der Spurhaltung ermittelt werden. Demnach waren beide Systeme mit Spracheingabe der Touch-Eingabe überlegen – sogar gegenüber der Kontrollbedingung, welche ohne einzugebender Adresse durchgeführt wurde.

Doch welchen Einfluss hatten die Versuchsbedingungen auf das Erkennen eines Hinweisreizes in der visuellen Umgebung, welche anhand des « Detection Respond Task » gemessen wurde? Während die Probanden unter der Kontrollbedingung mit 325 Millisekunden sehr schnell auf das Aufleuchten des Lichts – das von den Autoren als vergleichbar mit einem beim Vorderfahrzeug aufleuchtenden Bremslicht eingeschätzt wurde – reagierten, stieg die Erkennungszeit signifikant in beiden Spracheingabebedingungen auf 460, bzw. in der Touch-Bedingung auf 540 Millisekunden. Zudem wurden in der PHMD- und in der Touch-Bedingung signifikant mehr aufleuchtende Lichter komplett übersehen (im Mittel 5% bzw. 20%) als wenn keine Adresse einzugeben war (rd. 1%).

Beckers et al. (2014) leiten mit Bezug auf subjektive Belastungsdaten sowie auf übersehene Umweltreize eine Überlegenheit des PHMD mit Spracheingabe gegenüber der manuellen Eingabe von Adressdaten über das Touch-Display eines Smartphones ab; sie identifizieren in diesem Sinne vor allem bei der Eingabe von Navigationsdaten sicherheitsrelevante Vorteile. Nachteile bezüglich dem gleichen Kriterium zeigten sich hingegen gegenüber der anderen Spracheingabebedingung, welche per Smartphone erfolgte.

Dass die Dauer der drohenden Ablenkung bei der Adresseingabe beim PHMD kürzer und das subjektive Belastungsempfinden zudem geringer war als in den anderen Bedingungen, sehen die Autoren zwar als wesentlichen Vorteil; sie befürchten jedoch auch eine damit einhergehende, gegenüber einem Smartphone gesteigerte Bereitschaft, bei der Nutzung eines PHMD Navigationseingaben während der Fahrt statt im Stand vorzunehmen.

Die Autoren betonen daher, dass *alle* Bedingungen, die neben der Fahrt eine Adresseingabe erforderten, eine verringerte Erkennung eines Ereignisses vor dem Ego-Fahrzeug bedingten und daher kritisch zu betrachten seien:

*Finally, irrespective of device or modality, destination entry was observed to significantly decrease responsiveness to events in the forward scene [...] compared to baseline driving and thus remains an area of concern.* (Beckers et al., 2014, S. 2160)



## 2.6. He, Ellis, Choi & Wang, 2015

Die Auswirkungen des Lesens eines Texts mittels eines Smartphones und eines PHMD (hier: Google Glass) untersuchten He, Ellis, Choi & Wang (2015b). Sie berücksichtigten dabei – im Gegensatz zu anderen Studien – ein so genanntes taktisches Spurwechselverhalten, welches relativ zu den übrigen Verkehrsteilnehmenden ausgelöst wird.

35 Probanden nahmen an dem Simulatorversuch teil, der sie über eine Autobahn führte und bei dem sie eine Geschwindigkeit von 55 mph (88 km/h) nicht überschreiten sollten. Da die übrigen Fahrzeuge in Fahrtrichtung Geschwindigkeiten zwischen 64 und 120 km/h einhielten, wurde regelmässig ein Überholvorgang notwendig.

Parallel zu dieser Fahraufgabe sollte ein Text sowohl auf einem Smartphone als auf einem PHMD gelesen werden, dessen Gesamtlänge auf Abschnitte von rund 110 Zeichen aufgeteilt war. Daran anknüpfend ergab sich als eine davon abhängige Variable die Geschwindigkeit, mit der die Abschnitte gelesen wurden. Darüber hinaus wurde die Spurhaltung, die Geschwindigkeit, die Häufigkeit der Überholvorgänge sowie die subjektive Belastung aufgrund der jeweiligen Nebenaufgabe gemessen.

Die Ergebnisse im Hinblick auf die Streuung der Spurhaltung verdeutlichten Vorteile des PHMD, welche mit der Kontrollbedingung – also ohne die Notwendigkeit, einen Text während der Fahrt zu lesen – vergleichbar waren und signifikant unter der Smartphone-Bedingung lagen. Während also die Fahrt in der Spurmitte in der PHMD-Bedingung am besten gelang, wurde relativ zur Kontrollbedingung signifikant seltener die Spur zum Überholen gewechselt. Die geringste Häufigkeit an Überholvorgängen wurde während des Lesens eines Texts vom Smartphone-Display gezählt, was wiederum zugleich dafür sorgte, dass relativ langsam gefahren – und zudem noch signifikant langsamer der Text gelesen – wurde. Bestätigt wurde darüber hinaus die signifikant geringere subjektive Belastung bei der Bearbeitung von Nebenaufgaben mithilfe des PHMD gegenüber einem Smartphone – selbst wenn die Kontrollbedingung die geringste Belastung erforderte.

He et al. (2015b) folgern daher zum Einen, dass das Lesen von mittleren und langen Texten unter beiden Bedingungen die Fahrleistung senkte; dennoch war die visuelle Ablenkung bei Verwendung eines PHMD geringer, was die Autoren auf die verringerte Notwendigkeit zur Blickabwendung zurückführen. Sie folgern daher:

*Note that drivers using Google Glass were still impaired relative to the drive – only baseline. They incurred larger standard deviation of lane position than when driving without any device. Using Google Glass rather than a smartphone did not eliminate the risks of distracted driving. Moreover, the ease with which people can look to Google Glass without having to look away from the road might lead drivers to the mistaken belief that Google Glass is not distracting. If so, people might be tempted to use Google Glass more than they would be tempted to look down at their smartphone, thereby increasing how long or how often they are distracted while driving. Although this study showed a reduction of distraction effect for Google Glass compared to a smartphone in a tactical vehicle control task, it does not show that it is acceptable to drive with either Google Glass or a smartphone. (He et al., 2015b, S. 280)*

Damit konstatieren sie neben zahlreichen weiteren Autoren die Gefahr, dass aufgrund der subjektiv empfundenen Leichtigkeit der Bedienung eines PHMD sowie wegen des Eindrucks, dies sei nicht ablenkend, die Gefahr der übermässigen Nutzung steigt. Die gegenüber der Kontrollbedingung schlechteren Fahrparameter veranlassen die Autoren somit zum Schluss, dass die Nutzung eines PHMD oder eines Smartphones während der Autofahrt nicht akzeptabel sei.

## 2.7. He, Choi, McCarley, Chaparro & Wang, 2015

Im Kontext einer Simulatorstudie untersuchten He, Choi, McCarley, Chaparro & Wang (2015a) detailliert die Folgen der Nutzung eines PHMD (hier: Google Glass) sowie eines Smartphones relativ zu einer Autofahrt ohne Ablenkung. In ihrer Literaturanalyse verfolgen sie dabei die Argumentation, dass zwar unter der Verwendung neuer Technologien eine bessere Fahrleistung erreicht werden kann; nicht wenige Befunde wiesen jedoch auch auf Probleme bei der Nutzung entsprechender Geräte hin, angefangen bei Übelkeit und Kopfschmerzen bis hin zum Tunnelblick und nachteiligen Folgen ungleicher Augenbilder (*binocular disparity*). Ferner setzen sie sich mit Paradigmen kognitiver Verarbeitung auseinander, von denen eines impliziert, dass sich die Verarbeitung von Informationen auf verschiedenen Sinneskanälen weniger nachteilig auswirkt, als wenn Informationen auf gleichen Sinneskanälen verarbeitet werden müssen. In diesem Sinne wäre beispielsweise das Fahren eines Fahrzeugs (visuell-räumlicher Kanal) zugleich zum Telefonieren während der Fahrt (sprachlicher Kanal) ohne Leistungseinbussen machbar. Andere Sichtweisen – z.B. Ein-Kanal-Theorien – hingegen erwarten bei der parallelen Verarbeitung von Informationen aus jedwedem Sinneskanal grundsätzlich Leistungseinbussen (für einen ausführlicheren Vergleich mit Bezug zur Autofahrt s. Hackenfort, 2013). Angesichts dessen wären beispielsweise Systeme mit Spracheingabe wegen drohender Fahrleistungseinbussen nicht von Vorteil.

Vor diesem Hintergrund untersuchten He et al. (2015a) anhand einer Simulatorstudie mit 25 Probanden, ob Systeme mit Spracherkennung die Leistungseinbussen gegenüber manueller Eingabe von Texten verringern sowie die Frage, ob ein PHMD die kognitiven Beeinträchtigungen in ähnlichem Ausmass reduziert wie ein Head-Down Display (HDD), welches durch ein Smartphone repräsentiert wurde.

Die Fahraufgabe bestand darin, in der Simulation ein anderes Fahrzeug mit zweisekündigem Abstand und bei 55 mph (88 km/h) zu verfolgen. Dabei kam es zuweilen zu Bremsungen des Vorderfahrzeugs, zugleich sorgte zeitweiliger Seitenwind für Abweichungen von der Idealspurhaltung. In einem zeitlichen Abstand von 40-80 Sekunden erfolgte darüber hinaus die Zustellung einer Textnachricht in Form einer zu beantwortenden Frage.

Insgesamt sechs verschiedene Bedingungen wurden im Sinne einer unabhängigen Variablen getrennt voneinander analysiert:

- Die *Nur-Fahrt* Bedingung stellte die Kontrollbedingung dar.
- Zwei *Nur-Text* Bedingungen enthielten das Verfassen von Texten bei stehendem Fahrzeug, was manuell am Smartphone und per Spracheingabe beim PHMD erfolgte.
- Die drei Bedingungen während der Fahrt differenzierten sich in eine *Fahrt-Manuell* Bedingung, in der der Text per Tastatur des Smartphone-Displays eingegeben werden sollte sowie in eine *Fahrt-PHMD* Bedingung, in der per Spracheingabe der Text mittels Google Glass diktiert werden konnte. Die *Fahrt-Stimme* Bedingung ermöglichte schliesslich das Verfassen des Texts per Spracheingabe mithilfe eines Smartphones.

Die signifikanten Resultate bezüglich der abhängigen Variablen ergaben im Wesentlichen folgendes Bild:

- Die Spurhaltung unterschied sich bei *Nur-Fahrt* und *Fahrt-PHMD* nicht; hingegen fuhren die Probanden ungenauer bei *Fahrt-Manuell* und *Fahrt-Stimme*.
- Die vorgesehene Fahrspur wurde bei *Nur-Fahrt* und *Fahrt-PHMD* deutlich seltener verlassen als bei *Fahrt-Manuell* und *Fahrt-Stimme*.
- Die Streuung der Geschwindigkeit (nicht die Geschwindigkeit selbst) unterschied sich, was auf eine unetstetigere Fahrt hindeutet. Hierbei stellte die Kontrollbedingung relativ zu *Fahrt-PHMD*, *Fahrt-Manuell* und *Fahrt-Stimme* die kontinuierlichere Fahrt dar.

- Der Abstand zum Vorderfahrzeug war bei *Nur-Fahrt* und *Fahrt-PHMD* kleiner als bei *Fahrt-Manuell* und *Fahrt-Stimme*.
- Die Häufigkeit der Bremsreaktionen war bei *Nur-Fahrt* besser als bei *Fahrt-Manuell* und *Fahrt-Stimme*. Darüber hinaus erwies sich *Fahrt-PHMD* besser als *Fahrt-Stimme*. Die Zeit hingegen bis zur Einleitung der Bremsung war bei *Nur-Fahrt* kürzer als in allen anderen Bedingungen.
- Die längsten Texte wurden bei *Fahrt-Stimme* diktiert, die kürzesten bei *Nur-Fahrt*.
- *Fahrt-Manuell* wurde von den Probanden als am stärksten ablenkend benannt, *Fahrt-PHMD* hingegen hielten die Teilnehmenden für diejenige Bedingung, in der sie am besten fuhren.

Die Autoren folgern daraus zunächst, dass die von ihnen verwendete Nebenaufgabe, also das Lesen und Verfassen eines Textes, unabhängig von der begleitenden Technik in jedem Fall die Fahrleistung mindert. Gleichwohl konstatieren sie, dass die Folgeschwere der Ablenkung durch ein PHMD gemindert werden kann, was sie auf die Spracheingabefunktion und auf die Position des Displays – im Blickfeld des Nutzenden – zurückführen:

*Google Glass (HMD) is positioned significantly closer to the drivers' gaze points than a smartphone (HDD), thus the duration of saccadic suppression is shorter for an HMD than an HDD.* (He et al., 2015a, S. 228)

Mit der Dauer einer *saccadic suppression* bezeichnen die Autoren die « nutzlose » Blick-Zeit, die beim Übergang von einem Blickziel zum nächsten entsteht. Schaut man beispielsweise von der Strasse zu einem im Fahrzeug liegenden Smartphone vergeht mehr Zeit als wenn man von der Strasse zum PHMD blicken würde.

Schliesslich betonen sie die generelle Problematik bei Nebenaufgaben:

*Although an HMD such as Google Glass may be less distracting to use while driving than a smartphone, it is important to note that texting with any device still impairs driving performance. [...] So even though Google Glass offers hands-free input, texting is still cognitively distracting. While Google Glass may be less distracting than the smartphone, it is still dangerous to use while driving.* (He et al., 2015a, S. 228)

Die bei der Ausführung von Nebenaufgaben entstehende kognitive Ablenkung stellt nach Ansicht der Autoren somit das grössere Problem bei der Autofahrt dar, das – in Abhängigkeit von der Länge der Ablenkung – in jedem Fall sicherheitsabträglich ist und nur zum Teil von Systemen, wie einem PHMD kompensiert werden kann.

## 2.8. Samuel, Zafian, Nicholas, Zhang, Knodler & Fisher, 2016

Ein Ziel der von Samuel et al. (2016) durchgeführten Studie war die Prüfung, ob ein PHMD (hier: Google Glass) zur Vorhersage latenter Gefahren geeignet ist. In ihrer Betrachtung der Literatur verweisen sie insbesondere darauf, dass die Blickabwendung von über zwei Sekunden vom Strassenverkehr hin zu einer Ablenkungsquelle etwa im Fahrzeug das Unfallrisiko deutlich erhöhen. Die Autoren sehen insofern Vorteile von PHMD gegenüber HUD, als dass Warnungen unabhängig von der Kopfhaltung permanent im Sichtfeld der Fahrzeuglenkenden erscheinen könnten. Schaut der Fahrer oder die Fahrerin eines Fahrzeugs also beispielsweise zu Mitfahrenden, würde die Informationen eines HUD nicht erkannt werden – die eines PHMD hingegen schon.

Dennoch verweisen die Autoren auf das Ablenkungspotenzial, das sämtliche Ablenkungsquellen und somit auch PHMD besitzen. Die Frage, die sich ihnen daher stellt, ist, inwieweit ein PHMD einen allfälligen Nutzen in Form einer frühzeitigeren Gefahrenerkennung ermöglicht.

Unter Einbezug von zwölf Probanden und einer Eye-Tracking-Brille zur Bestimmung der Blickrichtung sollten sieben kleine Verkehrsszenarien durchfahren werden. Diese bestanden aus einem Fussgän-

gerstreifen, einer Baustelle, einer Spurverengung, einer Stop-Strasse, einer Links- sowie einer Rechtskurve und einem Verkehrszeichen, das auf Velofahrende aufmerksam macht. Zehn Sekunden bevor diese Orte erreicht wurden, erschien bei den Probanden der Experimentalgruppe der entsprechende Hinweis im Display der Google Glass. Die Kontrollgruppe fuhr die gleiche Strecke, erhielt aber keine Hinweise; es wurde somit ein between-subject-Design verwendet.

Gemessen wurde die Fähigkeit zur Reaktion auf die allfällig gefährliche Situation dadurch, dass geprüft wurde, ob die Probanden, die sich in dem relevanten Bereich aufhielten, auch auf den intendierten Zielbereich schauten. Dabei wurden zwei Bereiche unterschieden, nämlich mit 4-5 (Zone 1) und 1-2 Sekunden Abstand (Zone 2) zum allfälligen Gefahrenbereich.

Mit Bezug zur Datenauswertung identifizierten Samuel et al. (2016) einen signifikanten Unterschied zwischen der Kontroll- und der Experimentalgruppe im Bereich der Zone 1, nicht jedoch in der Zone 2. Dies bedeutet somit, dass die Probanden unter Nutzung der PHMD frühzeitiger auf die Gefahrensituationen schauten als es in der Kontrollgruppe der Fall war.

Die Autoren entnehmen den Ergebnissen zweierlei: Einerseits folgern sie aufgrund der ähnlichen Blickraten beider Gruppen in der «nahen» Zone 2, dass ein PHMD nicht ablenkend wirke. Andererseits sehen sie ihre Hypothese bestätigt, dass die Verwendung eines PHMD die frühzeitige Gefahrenerkennung verbessern kann.

Einschränkend stellen sie schliesslich fest, dass falsche und/oder übermässige Alarme möglicherweise dauerhaft zu anderen Ergebnissen führen könnten und formulieren dies als zukünftig zu klärende Forschungsfragen.

## **2.9. Zusammenfassung der Studien im Kontext des Führens eines Fahrzeugs**

Vermutlich lässt sich der gegenwärtige noch sehr unvollständige Forschungsstand im Hinblick auf die Verwendung eines PHMD als Fahrer und Fahrerin so zusammenfassen: Es besteht Einigkeit darin, dass die Nutzung eines PHMD mit geringeren Ablenkungsfolgen verbunden ist wie die Nutzung eines Smartphones, gleichwohl aber die Nutzung eines PHMD zu einer beträchtlichen Verringerung der auf die Strasse gerichteten Aufmerksamkeit führt (Matthies et al., 2015).

Überblickend lässt sich feststellen, dass ein wesentlicher Vorteil von PHMD auf der – sofern vorhandenen – Möglichkeit der Spracheingabe beruht. Diese erwies sich in mehreren Studien als wesentlicher Faktor, der allfällige Blickabwendungen verringern konnte. Dass fahrtrelevante Informationen am Rande des Blickfelds und zudem unabhängig von der Kopfhaltung zugänglich sind, gilt als weiterer wesentlicher Faktor bei der Bemessung des Wirkungspotenzials eines PHMD, beispielsweise insofern, als wichtige Informationen abbildbar sind und damit die Gefahrenerkennung verbessern. Zu berücksichtigen ist allerdings, dass aktuelle technische Entwicklungen im Zusammenhang mit HUD auch die Erfassung der Kopfhaltung ermöglichen, so dass analog dazu Informationen dargestellt oder ausgelassen werden (Biswas & Xu, 2015).

Sofern also relevante Informationen dargestellt werden – beispielsweise Navigationsinformationen – ergeben sich durchaus Vorteile gegenüber der Nutzung von Informationen, die auf HDD, HUD oder im Fahrzeug befindlichen Smartphones dargestellt werden. Schliesslich wird im Kontext der Weiterentwicklung von PHMD auch die allenfalls zukünftig implementierte Sensorik gewürdigt, welche etwa die Integration von Systemen zur Müdigkeits- oder Aufmerksamkeitserkennung ermöglicht.

Dem stehen jedoch auch zahlreiche Nachteile gegenüber, die in den Studien thematisiert wurden. Zuvorderst steht hier der Aspekt des Ablenkungspotenzials, der nahezu in allen Studien befürchtet wird und der sich primär auf die Ausgabe von nicht-fahrtrelevanten Informationen im PHMD bezieht. Insbe-

sondere da man davon ausgehen muss, dass subjektiv die Belastung beim Lesen und Verfassen von Nachrichten auf einer digitalen Brille als gering(er) erscheint, dürfte das die schon beim Smartphone offenbar hohe Bereitschaft zur Auseinandersetzung mit entsprechenden Nebenaufgaben erhöhen. Doch selbst wenn sich die Darstellung von Informationen auf dem PHMD lediglich auf fahrtrelevante Dinge bezieht, bleibt offen, wie sich falsch-positive oder einfach zahlreiche Warnhinweise auswirken. Zumindest Attention Capture, ein Tunnelblick oder andere negative Folgen kognitiver Interferenzen werden in den zitierten Studien erwähnt. Schliesslich wird auch darauf hingewiesen, dass die Nutzung von PHMD Übelkeit oder Kopfschmerzen beispielsweise aufgrund der unterschiedlichen Augenbilder auslösen kann.

Zahlreiche bislang durchgeführte Studien konzentrierten sich auf einen Kontext, in dem für die Sicherheit irrelevante Informationen untersucht wurden. Insofern ist nur sehr wenig darüber bekannt, wie sich die Folgen der Nutzung eines PHMD gestalten, wenn ausschliesslich sicherheitsrelevante Informationen dargestellt werden.

Keine der identifizierten Studien verwendete eine Versuchsanordnung in der Realität, statt dessen wurden meistens einfache Szenarien als Testumgebung verwendet. Untersuchungen mit realitätsnahen Simulatoren stellen ebenfalls bislang die Ausnahme dar. Darüber hinaus wurde in nahezu allen bekannten Studien das Alter der Probanden nicht gezielt mit einbezogen; meistens waren die Probanden unter 30 Jahre alt und lassen damit keinen oder nur einen eingeschränkten Schluss auf die Wirkung bei älteren Personen zu. Schliesslich wurde nur das System Google Glass getestet, bei dem einerseits bestimmte Parallelfunktionen – beispielsweise spontan angezeigte Hinweise etwa auf eingegangene Nachrichten – ausgeschlossen wurden. Andererseits führte dies auch dazu, dass nur ein System mit zugrunde liegenden Parametern, z.B. Display-Helligkeit oder vorgegebener Fokus auf ca. 3.5 Meter Abstand, getestet wurde. Es ist anzunehmen, dass es, solange eindeutige Designvorgaben fehlen, weitere Konfigurationen geben könnte, die ebenfalls einen förderlichen oder hinderlichen Einfluss auf die Nutzung eines PHMD besitzen. Diese wären dann ebenfalls eingehend zu überprüfen.

Vor diesem Hintergrund besteht weiterhin das Potenzial zur genaueren Wirkungsabschätzung von PHMD zur Nutzung in Fahrzeugen – selbst wenn fundamental vom bisherigen Kenntnisstand abweichende Forschungsergebnisse nicht zu erwarten sind.

### 3. Head-Up Displays in Fahrzeugen (M. Hackenfort)

Um eine Wirkungsfolgenabschätzung der Nutzung von PHMD vornehmen zu können, kann der in Kapitel 1.2. beschriebene, noch erweiterungsfähige Forschungsstand durch Befunde aus einem angrenzenden Kontext angereichert werden. Denn die Verwendung von Head-Up Displays (HUD) weist zahlreiche Gemeinsamkeiten mit Peripheral Head-Mounted Displays auf. Beide ermöglichen nämlich die Visualisierung von Zusatzinformationen in der Nähe derjenigen Sichtbereiche, die zur Erfüllung der primären Aufgabe – beispielsweise dem Führen eines Fahrzeugs – ohnehin anvisiert werden müssen. In beiden Fällen also ist die Länge und Intensität der Blickabwendung zur Erfassung der dargestellten Informationen geringer als beim Blick auf ein Head-Down Display (HDD).

Mit der Frage, ob PHMD letztlich in Fahrzeugen nicht die «besseren» HUD sind, setzten sich Lauber & Butz (2013) auseinander. Zumindest auf Basis theoretischer Überlegungen nehmen sie an, dass der Vorteil einerseits im universellen Einsatz der PHMD liegt und andererseits in der Fixierung vor dem Auge zu sehen ist; dies ermögliche die Darstellung von Informationen über den stark eingeschränkten Bereich eines HDD hinaus. Im Rahmen eines Simulator-Experiments wurden zudem diese beiden Darstellungsformen variiert und anhand von zwei Verkehrssituationen getestet: Zum Einen sollte auf ein – von einem anderen Fahrzeug verdecktes – Schild mit Geschwindigkeitslimite reagiert werden, zum Anderen auf eine Kollisionswarnung aufgrund eines spontan bremsenden Vorderfahrzeugs. Zugleich wurde die Hypothese untersucht, ob die beiden Displays unterschiedliche visuelle Ablenkung generieren würden. Dazu wurde die Reaktionszeit auf ein am Rande des Blickfelds befindliches Lichtsignal quantifiziert, auf das Probanden reagieren mussten. Erwartet wurde, dass ein PHMD stärker ablenkend wirken und das Lichtsignal in höherem Masse verdecken würde.

Die Auswertung der von Lauber & Butz (2013) generierten Daten auf Basis von 34 Probanden zeigte jedoch keine Unterschiede im Hinblick auf Erkennungsraten und Reaktionszeiten. Letzteres Mass unterschied sich ebenfalls nicht bezüglich der rechtzeitigen Erkennung der Geschwindigkeitslimite und der Kollisionswarnung.

Die Autoren folgern daher aufgrund ihrer Daten, dass der Unterschied zwischen PHMD und HUD gering sei, sie weisen jedoch auch darauf hin, dass spezielle Rahmenbedingungen sowohl Vor- und Nachteil eines PHMD sein können:

*Even if our study did not reveal any significant differences in reaction times, there might be special situations (e.g. interacting with the car's infotainment system) in which this is the only chance of warning the driver. Coincidentally, just this property of head stabilized content [hier: PHMD] is also its biggest disadvantage. Visualizations are constantly visible, even in situations in which they are superfluous. For example, when checking the rear view mirror or blind spot, head-stabilized content might block the driver's view rather than enhancing it. (Lauber & Butz, 2013, S. 2)*

Letztere Einschränkung, dass Visualisierungen im PHMD permanent sichtbar sind, selbst dann, wenn sie eigentlich unnötig wären, gilt insbesondere dann, wenn die dargestellten Informationen nicht fahrt-relevant oder sogar ablenkend sind.

Head-Up Displays (HUD) in Fahrzeugen sind sehr eingehend untersucht worden. Als HUD beschreiben Matthies et al. (2015) mit Bezug auf Prinzel III & Risser, 2004, insofern ein in der Regel transparentes System, das aufgrund seiner Position im Blickfeld bzw. das Blickfeld überlagernd die Notwendigkeit zur Veränderung der Kopfhaltung verringert. Im Display des Systems – das beispielsweise auf die Windschutzscheibe projiziert werden kann – wird die Realität auf verschiedene Weise durch zusätzliche Informationen erweitert, so dass etwa im Display Dinge oder Personen auf die reale Strasse hinter dem Display gezeichnet werden können, die ohne HUD nicht zu sehen wären. Ein Anwendungsbereich wären z.B. Nebelerkennungssysteme, die ein stehendes Fahrzeug auf genau die Stelle

im vorderen Sichtfeld projizieren, an der es ohne Sichtbehinderung durch Nebel erkennbar wäre. Fahrzeuglenkenden wird es daher ermöglicht, frühzeitig Korrekturhandlungen vorzunehmen.

HUD wurden bereits in den vierziger Jahren des vergangenen Jahrhunderts entwickelt und in den sechziger Jahren eingesetzt, wobei sich das Einsatzgebiet vor allem auf die militärische Luftfahrt konzentrierte (Prinzel III & Risser, 2004). Dieser Bereich hat sich bis heute nicht verändert, allerdings wurde die Nutzung auch auf die zivile Luftfahrt sowie auf die Automobilität erweitert (Gish & Staplin, 1995).

Vorliegende Befunde stützen sich somit auf Erkenntnisse aus beiden Mobilitätsbereichen, wobei auch dieser Vergleich gewissen Einschränkungen unterliegt (Gish & Staplin, 1995): So ist die Komplexität der fahrzeugumgebenden Szenerie stark unterschiedlich und beim Führen eines Fahrzeugs vielseitiger. Vor diesem Hintergrund sind beispielsweise deutlich mehr Informationen zu verarbeiten. Dies führt dazu, dass die Anordnung und Grösse des HUD in Flug- und Fahrzeugen voneinander abweicht und das HUD in Autos aufgrund der hinter dem Gerät befindenden realen Umwelt stärker ausserhalb des Blickfelds angeordnet sein sollte.

Umgekehrt ist die Informationsdichte bezüglich systeminterner Aspekte im Flugzeug deutlich grösser. Demnach ist es möglich, dieses alleine mithilfe der vorhandenen Instrumente zu fliegen; entsprechend ist die Akzeptanz der Vielzahl von Informationsquellen bei Piloten grösser, als sie von Fahrzeuglenkenden zu erwarten wäre (Gish & Staplin, 1995).

Beim Vergleich der Systeme in beiden Verkehrsmitteln muss zudem berücksichtigt werden, dass sich die Anwendergruppen stark unterscheiden: Während in der Luftfahrt umfassend und fortlaufend geschulte Piloten die ausschliessliche Nutzergruppe ist, sind die Anwender in Fahrzeugen vom Alter und der Ausbildung her heterogener. Dabei impliziert letzterer Begriff gezielt auch die Schulung bezüglich des HUD samt der dargestellten bzw. darstellbaren Informationen – auch unter der Annahme, dass Flug- oder Fahrzeuge unterschiedlicher Typen berücksichtigt werden.

Was aber ist das Potenzial von HUD in Fahrzeugen? Gish & Staplin (1995) erwarten zunächst eine Erhöhung der Zeit, die der Blick des Fahrzeuglenkenden auf die Strasse gerichtet sein kann. Im Vergleich zu HDD, beispielsweise der standardmässig in der Armatur angeordneten Tankfüllstandsanzeige, wird bei HUD kürzere Blickabwendungen von den Autoren vermutet – im Bereich von 0.25 bis zu 1 Sekunde, was bei knapp 100 km/h wiederum einem Anhalteweg von 7 bis 27 Metern entspräche. Dies entspricht den Befunden weiterer Studien (z.B. Sprenger, 1993), wonach die Blicke zum HUD nicht nur kürzer sondern auch häufiger relativ zum HDD erfolgten. Ein Grund dafür wird auch in der geringeren Zeit gesehen, die die Augen zur Anpassung benötigen, da der Fokussierungspunkt bei einem HUD näher an der Realumgebung liegt, als der Blick auf den Geschwindigkeitsmesser im HDD etwa erfordert (Gish & Staplin, 1995). Davon profitieren insbesondere ältere Lenkende, da bei ihnen die benötigte Zeit für eine Anpassung der Augen an unterschiedliche Entfernungen grundsätzlich höher ist als bei jüngeren Personen.

Es sind allerdings ebenfalls insbesondere – wenngleich nicht ausschliesslich – ältere Verkehrsteilnehmende, die von allfälligen Nachteilen bei der Verwendung von HUD betroffen sein könnten. Zu nennen sind gemäss Gish & Staplin (1995) Leistungseinbussen aufgrund von folgenden Aspekten:

- virtueller Bildabstand
- Kognitive Gefangennahme («cognitive capture»)
- Fehlanpassungseffekte («misaccommodation effects»)
- Kontrastinterferenzen aufgrund von visueller Übersättigung («contrast interference / visual clutter»)

### 3.1. Virtueller Bildabstand und Position

Bei einem HUD, jedoch insbesondere bei einem PHMD, ist die virtuelle Distanz definierbar, auf der das projizierte Bild wahrgenommen werden kann. Wie bereits im Kapitel 1.1. beschrieben wurde, ist dieser Abstand bei Google Glass auf 3.5 Meter definiert: Obwohl sich der projizierte Bildinhalt also wenige Zentimeter vor dem Auge befindet, ist dieser wie Objekte in 3.5 Meter Entfernung wahrzunehmen.

Dabei stellt sich die grundsätzliche Frage, was ein optimaler Wert wäre. Zu berücksichtigen ist etwa, dass zur Umgewöhnung aufgrund der Neufixierung zwischen nahen und fernen Objekten eine gewisse Zeit (Akkommodationsverlust) und Anstrengung in Kauf genommen werden muss. Ideal wäre also – gemessen auch an dem Einsatzzweck des Displays – wenn typischerweise wahrgenommene Objekte und Inhalte des Displays nicht weit auseinander liegen. Im Fall von Google Glass dürften dabei Überlegungen eine Rolle spielen, dass das System typischerweise von Fussgängern innerhalb oder ausserhalb von Gebäuden genutzt werden sollte. Dabei wiederum sind Objekte in sehr naher und mittlerer Entfernung (wenige 20 cm bis zu 20 m, je nachdem, ob innerhalb oder ausserhalb von Gebäuden) vorhanden, entfernte Dinge hingegen dürften weniger relevant sein. Selbst wenn die optische Unendlichkeit bei rund 6 m liegt (Gish & Staplin, 1995), wäre eine optimale virtuelle Distanz, auf der ein Objekt im PHMD scharf zu erkennen ist, mit Blick auf visuelle Aufgaben während der Autofahrt zu diskutieren.

Dass dieser Aspekt eine Relevanz besitzt, zeigt sich beispielsweise im Rahmen von Studien zu HUD und dabei wiederum insbesondere mit Blick auf ältere Verkehrsteilnehmende. Vor allem, wenn virtuelle Distanzen unterhalb von 2.5 m dargestellt wurden, stieg bei älteren Personen die benötigte Zeit für die erneute Akkommodation deutlich an (Inuzuka, Osumi & Shinkai, 1991).

Der Aspekt der Platzierung des HUD – der ebenso Schlüsse zulässt zum Sichtbereich innerhalb der Brille, in dem das Bild im PHMD projiziert wird – ist ebenfalls wesentlich, da einerseits ein Ort ausserhalb des zentralen Sehens von vielen Fahrzeuglenkenden bevorzugt wird (Inuzuka et al., 1991). Es ist andererseits wichtig bezüglich der Frage, ob eine zum Hintergrund konforme Symbolik verwendet werden soll bzw. kann. Verdeutlicht werden kann dieser Aspekt – der auch mit dem Begriff des kontaktanalogen Displays beschrieben wird – anhand eines Beispiels zu reduzierten Sichtbedingungen. Bei vorhandener konformer Symbolik könnte der tatsächliche, nicht erkennbare Strassenverlauf mithilfe der HUD-Symbolik überlagert und entsprechend der Realität auf die Windschutzscheibe gezeichnet werden (s. Abbildung 2). Eine nicht-konforme Symbolik läge vor, sofern entsprechende Hinweise nicht an der Stelle projiziert werden, an der sie sich in der Realität ebenfalls befinden, sondern als



Abbildung 2: Beispiel eines HUD mit konformer Symbolik (Wired.com, 2016).



Hinweis an anderer Stelle, beispielsweise an einem zentralen Ort etwa am unteren Rand der Windschutzscheibe (s. Abbildung 3).



Abbildung 3: Beispiel eines HUD mit nicht-konformer Symbolik (BMW, 2016).

Konforme Symbolik bzw. kontaktanaloge Displays besitzen nicht nur die Eigenschaft, dass nahezu die ganze Windschutzscheibe zu einem HUD wird, sondern darüber hinaus zahlreiche Vorteile, die insbesondere im Zusammenhang mit kognitiver Beanspruchung bedeutsam wird (Martin-Emerson & Wickens, 1997; Wickens & Long, 1995); darauf wird im folgenden Abschnitt gesondert eingegangen.

Die Platzierung von Systemen mit nicht-konformer Symbolik ist gemäss Untersuchungen von Iino, Otsuka & Suzuki (1988) bei Geschwindigkeiten unter 70 km/h hinsichtlich sicherheitsrelevanter Aspekte unerheblich. Allerdings wurde – gegenüber einem konventionellen HDD sowie zwei 10° und 20° links vom zentralen Blickfeld angebrachten HUD – das zentriert positionierte HUD bei höheren Geschwindigkeiten zunehmend kürzer anvisiert. Es ist daher davon auszugehen, dass zumindest die Anzeige der Geschwindigkeit im HUD – wie vermutlich auch im PHMD – nicht weit vom zentralen Blick auf die Strasse vor dem Fahrzeug abweichen sollte. Für HUD empfehlen Weihrauch, Meloeny & Goesch (1989) neben der Anordnung zentral zum Blick des Fahrzeuglenkenden einen Winkel von 8° unterhalb der Sichtlinie. Inuzuka et al. (1991) bestätigen mit ihren Befunden diese Angaben im Wesentlichen, fügen allerdings hinzu, dass ebenso eine Anordnung bis 8° links oder 5° rechts noch möglich seien. Bei einem grösseren Winkel des neben der zentralen Sichtlinie des Fahrer angeordneten HUD ist zu erwarten, dass insbesondere bei hoher kognitiver Belastung – beispielsweise durch zahlreiche und komplexe Informationen im HUD – die zentrale Wahrnehmungsaufgabe, also der Blick auf die Strasse und die Beachtung vorausfahrender Verkehrsteilnehmender, nicht mehr ausreichend geleistet werden kann; gleiches gilt auch umgekehrt (Isomura, Kamiya & Hamatani, 1993). Insofern bestätigt dieses Ergebnis die durchaus deutlich ausgeprägten Präferenzen der Verkehrsteilnehmenden, die ebenfalls eine Anordnung des HUD mittig unten im Sichtfeld bevorzugten (Park, Cho, Baek & Park, 2015).

Neben einer möglichst zentralen – aber wesentliche Merkmale in der Realumgebung nicht überdeckenden – Anordnung empfiehlt sich somit eine virtuelle Sichtdistanz des HUD zwischen 2.5 und 4 Metern.

### 3.2. Attention Capture

Das Problem, dass die Aufmerksamkeit von einem Reiz «gefangen genommen» werden kann, wurde erstmalig bei Einsatz von HUD in der Luftfahrt beobachtet. Dies führte beispielsweise bei Piloten im Landeanflug dazu, dass eine unerwartete Gefährdung in der realen Welt – ein anderes Flugzeug kreuzte die relevante Landebahn – deutlich später erkannt wurde, als wenn ein HUD zur Unterstützung des Landeanflugs nicht zum Einsatz kam (Fischer, Haines & Price, 1980; McCann, Lynch, Foyle

& Johnston, 1993). Ist mindestens ein – beweglicher – Reiz präsent, der grundsätzlich in hohem Masse die Aufmerksamkeit bindet, fehlt die notwendige Kapazität, um sich weiteren Aufmerksamkeitsquellen mit der ausreichenden Leistung zu widmen. Im konkreten Fall wurde angenommen, dass das HUD eine «Aufmerksamkeitsfalle» darstellt, da offenbar die Aufmerksamkeitszuwendung auf das HUD robuster war als die Fähigkeit zur Beachtung der Aussenwelt (Crawford & Neal, 2006).

Als Ursachen dafür, dass die Aufmerksamkeit durch das Vorhandensein von HUD – und vermutlich auch PHMD – so stark gebunden wird und zugleich relevante Aspekte in der Aussenwelt kaum wahrgenommen werden, gelten die Effekte der «Change Blindness» und «Cognitive Tunneling». Grundsätzlich zeigen jedoch Befunde aus der Luftfahrt die Schwierigkeit, kognitiv zwischen dem HUD und der realen Szenerie hin und her zu wechseln (Prinzel III & Risser, 2004). Dass sich bei der Verwendung nicht aufgabenrelevanter Symbolik im HUD das Problem vergrösserte (Fischer et al., 1980), bestärkt die Annahme, dass der Wechsel der Aufmerksamkeit bei komplexen Darstellungen innerhalb des HUD ungünstige Folgen hervorruft.

Zugleich spielt in diesem Kontext offenbar wiederum der Aspekt der Konformität des Displays eine entscheidende Rolle. Denn es zeigte sich bei näherer Betrachtung, dass eine nicht-konforme Anzeige das Problem der «Attention Capture» signifikant vergrösserte: Demnach betrugen die Reaktionszeiten auf unerwartete Ereignisse bei konformer Symbolik 0.5 Sek, bei nicht-konformer Symbolik hingegen 3.6 Sek (Wickens & Long, 1995).

Eine Symbolik, die zumindest in Teilen zur Aussenwelt konform ist, besitzt also gemessen an der Fähigkeit zu ihrer kognitiven Verarbeitung offenkundig zahlreiche Vorteile, wobei die Dichte der dargestellten Informationen ein wesentlicher Schlüssel ist:

*One remedy is to resist the temptation to place too much nonconformal imagery head-up, as the degradation in bottom-up quality of both near and far domain information will increase the vulnerability to negative top-down influences on the processing of unexpected events. (Wickens & Long, 1995, S. 191)*

Darüber hinaus erwarten die Autoren – zumindest aufgrund von Erkenntnissen aus der Luftfahrt – jedoch wesentliche Vorteile von HUD, die über eine konforme Symbolik verfügen bzw. Nachteile hinsichtlich der Erkennung unerwarteter und seltener Ereignisse bei solchen Systemen, die selbigen nicht verwenden:

*In conclusion, we may identify specifically three ways in which the results of the current study add to our knowledge about (and therefore design guidelines for) the development of HUDs. First, the advantages of the head-up display that result from reduced scanning may be enhanced by the use of conformal imagery. Second, the benefits of conformal imagery are most effectively realized when it is positioned head up. Third, there are real cautions to be noted from cluttering HUDs with too much nonconformal imagery. These concerns will be most relevant for the detection of infrequent, unusual, or unexpected events. We expect that our model of HUD processing will help to find design solutions that will address these concerns. (Wickens & Long, 1995, S. 192)*

Entsprechende Befunde, nämlich die positive Wirkung von kontaktanalogen HUD, konnten aufgrund einer Metaanalyse bestätigt werden (Fadden, Ververs & Wickens, 1998). Entsprechende Vorteile zeigten sich allerdings primär in den kognitiv belastenden Flugphasen des Startens und der Landung, nicht jedoch während des Reiseflugs. Auch bestätigte sich die verzögerte Wahrnehmung von unerwarteten Ereignissen in der Umwelt beim Vorhandensein eines kontaktanalogen HUD bei Fahrzeugführern (Gish & Staplin, 1995). Nicht-kontaktanaloge HUD hingegen führten zu einer verringerten Fahrleistung bei Lenkern dann, wenn der Blick vom HUD zur Strasse (statt von der Strasse zum HUD) gewendet wurde (Liu, 2003).

Die Gefahr der Attention Capture im Speziellen und die generelle kognitive Verarbeitung von Informa-

tionen, die im Allgemeinen im HUD dargestellt werden, können zudem von weiteren Effekten beeinflusst werden. Zu nennen wären beispielsweise Ereignisse, die sowohl in der Realumgebung als auch in der Darstellung im HUD die Aufmerksamkeit des Fahrers benötigen – insbesondere, wenn man davon ausgeht, dass eine parallele Verarbeitung nur sehr eingeschränkt möglich ist. Bei der Analyse der Folgeschwere der Interferenzen ist bedeutsam, um wie viele Aufmerksamkeitsziele es sich handelt, wie vorhersagbar diese im Hinblick auf Quantität und Qualität sind, an welcher Stelle sie – in der Realität und im Display – auftreten, wie gut erkennbar diese sind und in welcher Frequenz allfällige aufmerksamkeitsrelevante Ereignisse auftreten (Gish & Staplin, 1995). Vor diesem Hintergrund wäre beispielsweise ein zu langes Verharren der Aufmerksamkeit zugunsten des HUD dann gegeben, wenn dort häufig Informationen erscheinen, die vom Fahrer als relevant erachtet werden, wenn sich diese Nachrichten nur schwer vom realen Hintergrund abheben würden und sie zeitlich und von der Platzierung her unvorhersehbar wären. Die Attention Capture würde zusätzlich noch verstärkt werden, wenn eine hohe Arbeitsbelastung durch die Fahrt etwa durch dichten Verkehr gegeben wäre.

Mehr oder weniger starke kognitive Interferenzen ergeben sich auch und zusätzlich mit Blick auf die Reaktionsmöglichkeiten auf ein Ereignis. Sind viele Möglichkeiten zur Reaktion auf ein Ereignis vorhanden oder unklar und erfordern parallele Handlungen, verringert dies die Wahrscheinlichkeit angemessener Handlungen (Gish & Staplin, 1995). Unterscheidet sich zudem die verwendete Symbolik zwischen HUD (und in gleicher Weise wohl auch PHMD) und HDD – etwa mit Blick auf nicht-standardisierte Navigationsempfehlungen – oder widersprechen sich beide sogar, kann es zu deutlichen Verhaltenshemmungen insbesondere bei älteren (zugleich erfahreneren) Fahrzeuglenkenden kommen (Korteling, 1994; Gish & Staplin, 1995).

Insgesamt kann also festgestellt werden, dass Attention Capture ein bedeutendes Problem darstellen kann, das mit konformer Symbolik zu einem gewissen Teil kompensiert werden kann. Dennoch bleiben Einschränkungen, sofern die im HUD dargestellten Informationen nicht Standards im Hinblick auf Informationsdichte, Ergonomie und Inhalten gerecht werden können. Für die Verwendung von HUD – vielmehr noch PHMD – stehen für alle Hersteller verbindliche Standards jedoch noch aus.

### **3.3. Fehlanpassungseffekte**

Folgen einer Fehlanpassung der Fokussierung des Auges können beispielsweise aufgrund des so genannten Mandelbaum-Effekts ausgelöst werden. Wird etwa durch eine verschmutzte Windschutzscheibe hindurch gesehen, kann das Auge einerseits auf die Verschmutzung oder andererseits auf die Hintergrundszenerie fokussieren. Sichtbare Ränder des HUD können unter anderem eine «Konvergenz-Akkommodationsfalle» darstellen (Weintraub & Ensing, 1992, zit. n. Gish & Staplin, 1995). Dies würde für den konkreten Fall beispielsweise bedeuten, dass die Augen zu lange auf die Ränder des näher liegenden HUD fixieren würden, was zur Folge hätte, dass die Objekte ausserhalb des Fahrzeugs hingegen unschärfer wahrgenommen werden würden.

Ebenfalls kann die Wahrnehmung der Grösse von Objekten oder Personen ausserhalb des Fahrzeugs im Zusammenhang mit einem vorhandenen HUD verzerrt werden, ebenso wie die Rezeption von Geschwindigkeiten und Distanzen (Gish & Staplin, 1995; Liu, 2003). Dabei gehen die Autoren davon aus, dass Objekte ausserhalb des Fahrzeugs tendenziell kleiner bzw. entfernter wahrgenommen werden könnten, als sie tatsächlich sind. Gleichwohl wird diesem Effekt keine so deutliche Auswirkung beigemessen, als dass dies sicherheitsrelevant werden könnte (Biberman & Alluisi, 1992).

### 3.4. Kontrastinterferenzen

Ein nahe liegendes Problem stellt sich, wenn das auf dem HUD projizierte Bild relevante Objekte in der Realumgebung überlagert. Zusammen mit einem hohen Kontrast (Faktor 3) sorgte eine zu 50% gefüllte Fläche des HUD für eine bedeutend geringere Objekterkennung (Okabayashi, Sakata & Hata-da, 1991). Besonders bei Nachtfahrten könnte ein hoher Kontrast zwischen der Realumgebung und der im HDD dargestellten Symbolik somit problematisch werden. Vor diesem Hintergrund wird deutlich, dass die Anzahl von Informationen, die in jedwedem Display dargestellt werden, auf ein Mindestmass reduziert werden muss, solange die Gefahr zu langer Blickabwendungen niedrig gehalten werden soll (Kurokawa & Wierwille, 1991 zit. n. Gish & Staplin, 1995). Zwar können vom Fahrer auch Dinge im peripheren Blick wahrgenommen werden, jedoch wird davon ausgegangen, dass zur Objekterkennung andere Verkehrsteilnehmende oder allfällige Hindernisse genau fixiert werden müssen. Vor diesem Hintergrund erscheint es notwendig, zur Prüfung des Einflusses der im HDD oder PHMD dargestellten Informationsmenge auch die Dauer der Blickabwendungen in realitätsnahen Szenarien zu bestimmen.

### 3.5. Weitere Effekte der Verwendung von HUD

Eine Folge, die während der Nutzung von HUD anzunehmen wäre, bezieht sich auf die Geschwindigkeitswahl. Bei einem innerhalb eines HUD dargestellten Assistenzsystems, das die Sicht verbessert – wie z.B. das in der Abbildung 3 dargestellte System zur Verdeutlichung des Strassenverlaufs im Nebel –, könnte befürchtet werden, dass dies zur Wahl höherer Geschwindigkeiten führt. Experimentell bestätigte sich diese Besorgnis nicht (Ward, Stapleton & Parkes, 1994 zit. n. Gish & Staplin, 1995). Insofern ist anzunehmen, dass im Wesentlichen kein Einfluss zu erwarten ist, allenfalls durch die bessere Beachtung der eigenen Geschwindigkeit ein positiver (Rutley, 1975).

Gestützt wird diese Auffassung von einer von Liu (2003) durchgeführten Studie, die zeigen konnte, dass Fahrer unter geringer und hoher Beanspruchung durch die Autofahrt schneller auf Signale zur Anzeige der Geschwindigkeitslimite bzw. deren Veränderung reagierten. Zudem konnte bei geringer Belastung eine Verbesserung der Spurhaltung bei Verwendung eines HUD festgestellt werden. Der Autor schliesst daraus, dass die Nutzung eines HUD die Erkennung von unvorhergesehenen Ereignissen verbessern kann und somit insgesamt weniger Aufmerksamkeit für das Führen des Fahrzeugs benötigt wird – samt aller Vor- und Nachteile, die eine geringe Beanspruchung bei der Autofahrt nach sich ziehen könnte.

Mit zunehmenden Einsatzgebieten von HUD werden allerdings Effekte einer kognitiven Überlastung des Fahrers erwartet, welche bestenfalls durch kontaktanaloge Darstellungsweise verringert werden kann (Gish & Staplin, 1995). Inwieweit diese jedoch bei – vor allem nicht-fahrzeugspezifischen – PHMD realisiert werden kann, bleibt offen. Dies gilt in gleicher Weise im Hinblick auf die Fragen, *wann* Informationen in das Display gebracht werden: Ob eine permanente Darstellung von mehr oder weniger relevanten Inhalten empfehlenswert ist, bestimmte Dinge nur temporär eingeblendet werden sollen oder gar der Fahrer bzw. dessen physiologischer und kognitiver Belastungsgrad auf diesen Entscheid Einfluss haben soll und kann, ist ein sicherheitsrelevanter Aspekt, der auch in Abschnitt 4.5 analysiert wird.

### 3.6. Ergebnisse des HUD-Reviews nach Ward & Parkes, 1994

Aufgrund der bis dahin vorliegenden Literatur zu HUD basierend auf Befunden aus der Luffahrt und der Verwendung in Fahrzeugen gaben Ward & Parkes (1994) mit Verweis auf Weintraub & Ensing

(1992) Empfehlungen für Attribute von HUD ab. Diese sollten unter anderem hinsichtlich ihrer Helligkeit ein Kontrastverhältnis von 1.5:1 bieten (bzw. bei schwach beleuchteten Hintergründen ein Verhältnis von 4:1). Darüber hinaus wird ein einfarbiges Display empfohlen, wobei das dargestellte Bild zur besseren virtuellen Integration in die Realumgebung in der visuellen Unendlichkeit eingestellt werden sollte.

Ward & Parkes (1994) warnen vor der Darstellung von zu vielen Informationen wobei sie mit Verweis auf Systeme zur Verbesserung der Sicht die Gefahr vor einer Aufmerksamkeitsablenkung von der Strasse weg zu stark zum HUD hin aufzeigen. Dies könnte paradoxerweise darin resultieren, dass die verbesserte Darstellung von Elementen im HUD, die z.B. in der Realumgebung im Neben nicht sichtbar sind, zum Übersehen von relevanten Merkmalen ausserhalb des Displays führen könnten; dies könnte beispielsweise ein ansonsten gut sichtbarer Fussgänger in der Nähe des Fahrzeugs sein. Zudem leide die Erkennung von Elementen sowohl in der Realumgebung als auch im HUD unter einer zu hohen Komplexität, was insbesondere auf unerfahrene Fahrer zutreffe.

Darüber hinaus verweisen Ward & Parkes (1994) auf Studien, die eine zu starke Blickzentrierung bei psychischem und physischem Stress sowie bei mittlerer bis hoher Informationsdichte provoziert. Die Autoren kommen daher zu dem Zwischenfazit:

*These findings imply that a relevant but near-threshold item (such as a pedestrian at night) has an increased chance of being missed under high task demand, regardless of its peripheral position. (S. 712)*

Die Gefahr von Fehlakkommodation führt den Autoren zufolge zu einer artifiziellen Wahrnehmung verkleinerter Elemente der Realumgebung, was in dem Eindruck resultieren könnte, dass beispielsweise andere Verkehrsteilnehmende weiter weg erscheinen, als sie tatsächlich sind. Dazu tragen weitere Faktoren bei, wie z.B. eine kleine Bildfläche des HUD oder eine schlechte Bildqualität.

Insgesamt erwarten Ward & Parkes (1994) einen Zielkonflikt zwischen den Vorteilen des zentriert angebrachten, zahlreiche Zusatzinformationen bereitstellende HUD und der damit einhergehenden Aufmerksamkeitsreduktion hinsichtlich der peripheren Sichtbereiche. Mit Bezug auf feldabhängige Fahrzeuglenkende – ein Personenmerkmal, demzufolge bestimmte Personen ihre Wahrnehmung nur unzureichend von der Umgebung loslösen können – erwarten die Autoren nur geringe Vorteile von HUD gegenüber HDD, da bei Vorliegen dieser Bedingung die Erkennung von Inhalten des HUD nicht sichergestellt sei. Die mindere deren Wirksamkeit.

### **3.7. Zusammenfassung und Ableitungen von Empfehlungen für PHMD**

Was lässt sich zunächst mit Blick auf HUD für den Einsatz im Fahrzeug folgern? Grundsätzlich und übereinstimmend dürften Zahl und Dauer der Blicke auf die Strasse gegenüber HDD höher sein, wenn ein HUD verwendet wird. Dazu tragen unter anderem geringere Akkommodationsleistungen und -zeiten bei, da die visuelle Distanz bei HUD i.d.R. deutlich grösser und damit näher zur visuellen Entfernung der Realumgebung programmiert werden kann, als es beim Blick auf die Fahrzeuggarnituren möglich ist. Davon dürften in erster Linie ältere Verkehrsteilnehmende profitieren, da bei ihnen die visuelle Akkommodation langsamer vonstatten geht als bei jüngeren Personen. Ebenfalls ist zu erwarten, dass eine Anordnung des HUD im zentralen Blickfeld hilfreich ist – von Anwendern bevorzugt wird dies allemal.

Dass HUD zu einer geringeren kognitiven Belastung während der Autofahrt beitragen können, gilt jedoch nur für kontaktanaloge Varianten. Umgekehrt ist ebenfalls anzunehmen, dass nicht-kontaktanaloge Displays sogar insbesondere während hoch belastender Bedingungen hinsichtlich einer optimalen Aufmerksamkeitsverteilung problematisch sein können. Der Effekt der Attention Capture konnte

bei der Verwendung von HUD sowohl in Flug- wie auch in Fahrzeugen mehrfach repliziert werden.

Die Symbolik erwies sich insofern als zentrale Grösse bei der Beurteilung der Vorteile von HUD gegenüber HDD: Der Einsatz von kontaktanalogen Displays gilt als optimale Bedingung, ist jedoch technisch herausfordernder und daher bislang nicht flächendeckend in Fahrzeugen im Einsatz. Für die Verwendung konformer Symbolik spricht aber eine geringe Attention Capture, häufigere und längere Blicke auf die Strasse sowie kürzere Reaktionszeiten auch auf unerwartete Ereignisse.

Erhebliche Bedeutung besitzen weitere Aspekte der Symbolik: Diese sollte nicht komplex sein und die wichtigsten Informationen bereit stellen. Darüber hinaus sollte sie in Übereinstimmung mit der fahrzeugspezifischen Symbolik stehen, da allfällige Widersprüche wiederum zu einer ungünstigen Aufmerksamkeitsverteilung beitragen. Die Qualität und Quantität der im HUD dargestellten Informationen ist also kritisch im Hinblick auf kognitive und visuelle Interferenzen, welche zu befürchten wären.

Alles in allem folgern Gish & Staplin (1995):

*The general conclusion from the review of the HUD literature is that the safety benefits of HUDs are generally small and in some instances HUDs produce poorer performance. Fortunately, almost all of the disadvantages found with HUDs can be attributed to inappropriate design of the HUD optics, symbology and/or the driver interface. (S. 30)*

Viele der erwähnten Bedingungen sind in sehr ähnlicher Weise auch für PHMD anzunehmen. Während ähnliche Vorteile in Bezug zur Blickverteilung und zu Akkommodationsleistungen zu erwarten sind, könnte sich jedoch die Anordnung der dargestellten Information als problematisch erweisen. Ein Abbild allfälliger Informationen könnte beispielsweise den im Fahrzeug angebrachten Rückspiegel verdecken. Die bezüglich HUD geltenden Empfehlung der zentrierten Anordnung im unteren Teil des Blickfelds würde ein PHMD ähnlich einer Lesebrille erforderlich machen – abgesehen davon, dass weit verbreitete PHMD-Systeme monokular statt binokular aufgebaut sind.

Ein zentraler Faktor, welcher bei HUD gewisse Vorteile bewirkt bzw. die Auswirkung von Nachteilen verringert hat, ist die Qualität und Quantität der verwendeten Symbolik. Zwar lassen sich grundsätzlich auch kontaktanaloge, nicht-komplexe und relevante Informationen auch im PHMD darstellen, dies setzt jedoch zwei wesentliche Bedingungen voraus: Eine herstellerübergreifende Standardisierung unter ergonomischen Gesichtspunkten, die sich zugleich mit der Elektronik des Fahrzeugs kombinieren lässt, da nur dort die notwendigen Informationen – beispielsweise auf Basis eines entsprechenden Assistenzsystems – generiert werden.

Wären Standardisierung und Kopplung an die Fahrzeugelektronik gegeben, wäre von gewissen sicherheitsrelevanten Vorteilen von PHMD gegenüber HDD – und teilweise auch HUD – auszugehen. Dabei dürfte beim momentanen Stand der Technik eine Rolle spielen, dass PHMD überhaupt bzw. besser die Kopfbewegungen des Fahrers erkennen und in der Darstellung der Informationen berücksichtigen können, als dies von HUD geleistet werden kann.

Der Einsatz von HUD ohne zeitgleiche Kopplung mit der Fahrzeugelektronik ist nur unzureichend untersucht worden, weshalb direkte Schlüsse allenfalls Hypothesen generieren; doch nimmt man an, dass fahrzeugrelevante Daten im PHMD nicht dargestellt werden könnten bzw. nur aufgrund einer eigenen Datenquelle selbst generiert werden könnten (z.B. die Darstellung der Geschwindigkeit aufgrund des Smartphone-spezifischen GPS-Sensors), dürften nicht nur zahlreiche Vorteile entfallen – es wäre zudem mit bedeutsamen Nachteilen etwa infolge von kognitiven und visuellen Interferenzen zu rechnen. Dies ist in sehr ähnlich ungünstiger Weise anzunehmen bei einer fehlenden Standardisierung, was dazu führen könnte, dass verschiedene Hersteller auch voneinander abweichende Symbole, Informationsanordnungen etc. verwenden.

#### **4. Informationsquellen im Fahrzeug mit Schwerpunkt auf Informations- und Kommunikationssysteme (C. Cordin & M. Hackenfort)**

Lange beschränkte sich die Ausstattung in Fahrzeugen auf wenige, einfache Informationssysteme wie Geschwindigkeitsanzeige, Heizung oder Autoradio. Die rasante Entwicklung der Computertechnologie führte allerdings auch in der Automobilbranche zu einer starken Digitalisierung der Fahrzeuginstrumente. Spätestens mit dem Aufkommen von mobilen Navigationsgeräten und Smartphones sowie der direkten Implementierung von Bordcomputern entwickeln sich die Einsatzmöglichkeiten für Informations- und Kommunikationssysteme (IKS) mit deutlich höherer Geschwindigkeit als bislang. So nimmt nicht nur der Funktionsumfang solcher Systeme stetig zu, sondern auch deren Vermarktung und Verbreitung (Vollrath, Huemer, Nowak & Pion, 2015).

Obwohl IKS immer umfassender hinsichtlich ihrer Funktionen werden und Fahrzeuglenkende bereits in vielen Aspekten unterstützen können, ist bisher vergleichsweise wenig bekannt über die konkreten Auswirkungen auf das Fahrverhalten. Gerade im Hinblick auf die zunehmende Verbreitung von IKS erscheint es wichtig, Gefahren und Nutzen einzelner Systeme zu kennen und abzuwägen. Besonders die kognitive Beanspruchung für die Bedienung sowie das Ablenkungspotential während der Nutzung sind dabei von zentralem Interesse und sollten immer auch dem Sicherheitsgewinn gegenübergestellt werden. Im Zusammenhang mit der Verwendung von PHMD stellt sich die Frage, ob die Datenausgabe von IKS zusätzlich auf eine Art und Weise unterstützt werden kann, um deren Verwendung sicherer zu gestalten oder ob dadurch nur eine zusätzliche Ablenkungsquelle Einzug in die sonst schon komplexe Ausstattung der Fahrerkabine findet.

Zu den Informations- und Kommunikationssystemen in Fahrzeugen wird eine grosse Palette an Systemen mit sehr unterschiedlichen Modalitäten, Funktionen und Darstellungsoptionen gezählt, welche den Fahrzeuglenkenden während der Fahrt bestimmte Informationen darbieten oder als Kommunikationsmittel dienen. Vollrath et al. (2015) nennen in einer umfassenden Meta-Analyse zu IKS folgende Systembereiche:

- Klimatisierung,
- Audiosysteme, wie Radio, CD-Laufwerk, MP3-Audio via Smartphone, USB etc.
- Telefon, i.d.R. mit eingebauter Freisprecheinrichtung
- Navigationssysteme,
- Bordcomputer (z.B. Energieeffizienzanzeige),
- Möglichkeit zur Einstellung von Fahrzeugparametern (z.B. Wahl verschiedener Fahrprogramme),
- Darstellung der Bilder der Rückfahrkamera,
- Fahrassistenzsysteme (z.B. Cruise Control, Spurhaltesysteme, Nachtsicht-Assistenz)
- externe Geräte (z.B. Smartphones, Tablets und MP3-Player).

Die Einteilung von Systemen nach ihrer Funktionsgruppe stellt eine grosse Herausforderung dar, da die Überschneidungen verschiedener Systeme häufig und naheliegend sind. Ein Sonderfall sind Smartphones, welche sowohl über Funktionen zum Entertainment (z.B. als Video- oder Musikplayer), zur Navigation und je nach Konfiguration auch zur Fahrassistenz verfügen können.

Die einzelnen Systeme können beispielsweise in vier Funktionsgruppen zusammengefasst werden:

- Entertainment & Komfort: Video, Musik, Klimatisierung, Internet
- Fahrtinformation: Navigation, Geschwindigkeit, Kraftstoffverbrauch
- Fahrassistenz: Fahrassistenzsysteme, Fahrprogramme, Rückfahrkamera, Nachtsicht

- Kommunikation: Telefonie, Freisprecheinrichtungen, Messaging

Sowohl Entertainment- und Komfortsysteme als auch Kommunikationseinrichtungen besitzen keinen direkten Nutzen für das Lenken eines Fahrzeuges. Oft dienen sie alleine der Unterhaltung oder der Verbesserung des Komforts, indem beispielsweise die Temperatur auf ein subjektiv angenehmes Level gestellt oder Musik gehört werden kann. Besonders prädestiniert für Ablenkung sind dabei Bedieneinrichtungen, um beispielsweise die Klimatisierung einzustellen oder eine Telefonnummer zu wählen (Vollrath et al., 2015). Die dafür oft notwendige visuelle und kognitive Beanspruchung stellt – wie in folgenden Abschnitten belegt wird – ein hohes Gefahrenpotential für Fahrzeuglenkende dar. Fahrinformations- und Fahrassistenzsysteme hingegen liefern primär nützliche fahrbezogene Informationen, wie beispielsweise den Kraftstoffverbrauch oder sie bieten Fahrhilfen. Je nach Funktionsweise können solche Systeme auch zur Sicherheit beitragen indem beispielsweise auf unzureichende Abstände, zu hohe Geschwindigkeiten oder unkonventionelle Fahrweisen hingewiesen wird. Auch hier ist es offenbar jedoch entscheidend, wie die jeweiligen Systeme bedient und benutzt werden können. So könnte zum Beispiel ein System zur Abstandserkennung dann stark ablenkend wirken, wenn dieses ständig geprüft werden müsste.

Nebst den eigentlichen Funktionen der IKS werden ebenfalls anwendungsbezogene Rahmenbedingungen respektive Eigenschaften berücksichtigt, welche bereits mit sicherheitsrelevanten Vor- und Nachteilen behaftet sein können. So kann es für das Ablenkungspotential eine grosse Rolle spielen, wo sich das System im Fahrzeug befindet (Lokalisation), wie es konkret bedient wird (Bedienung) und wie es verbaut ist (Integrationsstufe). Unterschieden werden bei letzterem hauptsächlich fix im Fahrzeug verbaute Systeme („on-board devices“) und externe Geräte wie beispielsweise Smartphones („nomadic devices“). Je nach Hersteller und Ausstattungswünschen verfügen die Fahrzeuge über sehr unterschiedliche Kombinationen von IKS. Der momentane Trend der Automobilhersteller geht in Richtung Vollintegration, so dass die Fahrzeuglenkenden künftig über den zentralen Bordcomputer sämtliche IKS ansteuern können (Aral AG, 2015; Vollrath et al., 2015).

Informations- und Kommunikationssysteme werden bereits seit langer Zeit in Fahrzeugen eingesetzt, beispielsweise in Form des Autoradios oder des Fahrtenschreibers. Dementsprechend gibt es eine Fülle an Studien, welche sich auch mit dem Ausmass an Ablenkung durch solche Systeme beschäftigen, etwa beim Musikhören, Telefonieren oder dem Schreiben von (Kurz-)Nachrichten. In der letzten Dekade entwickelten sich die Funktionsmöglichkeiten von IKS jedoch so schnell, dass viele Entwicklungen nicht mehr koordiniert wurden bzw. werden konnten. Um diesem Umstand Rechnung zu tragen, wurden im Rahmen des HASTE-Projekts (Human machine interface And the Safety of Traffic in Europe; Carsten & Brookhuis, 2005; Brookhuis & Carsten, 2011) Richtlinien definiert, damit die bereits vorhandenen und neu entwickelten IKS künftig anhand standardisierter Testverfahren effizient untersucht und evaluiert werden können. Diese Forschungsrichtlinien sollten dazu beitragen, einzelne IKS valide, reliabel und systematisch in einem pass/fail-Verfahren zu testen, um so die sicherheitsrelevanten Grundlagen für Entscheidungsträger und Behörden zur Verfügung zu stellen.

Konkret wurde durch Brookhuis & Carsten (2011) gezeigt, dass vier bis sechs Verhaltensparameter genügen würden, um einzelne IKS auf deren Sicherheitsrelevanz zu prüfen. Am besten dazu geeignet seien erweiterte Fahrsimulatoren, welche ein hohes Mass an «Eintauchtiefe» (high level of immersion) besässen. Der Vorteil von Simulatoren bestehe darin, in einem geschützten Setting verschiedene Bedingungen zu testen und dabei die Strecken selber programmieren zu können. So könne beispielsweise verglichen werden, ob sich die Fahrparameter in Abhängigkeit der Nutzung von IKS verändern oder nicht. Ebenfalls wurde von den Autoren ein experimentelles Verfahren vorgeschlagen, in welchem jeweils zwanzig Probanden eine bestimmte Route in städtischem Setting abfahren - einmal mit und einmal ohne das zu testende System (im Sinne eines Designs für abhängige Stichproben).



Eine zusätzliche Methode, um Ablenkung zu messen, bieten Eye-Tracking-Systeme. Mit dieser Technologie können anhand der Aufzeichnung der Augenbewegungen verschiedene Fixationsmuster miteinander verglichen werden. Während einer Fahrt wird zum Beispiel gemessen, wie häufig und wie lange die Blicke von der Strasse oder von sicherheitsrelevanten Aspekten abgewendet sind, während ein bestimmtes IKS bedient wird (z.B. Jimenez, Bergasa, Nuevo, Hernandez & Daza, 2012; Carsten & Brookhuis, 2005).

Da insbesondere das tatsächliche Ablenkungspotential von IKS aus Unfalldaten nur schwer abzuleiten ist, hat sich besonders die Kombination von Eye-Tracking in Fahr simulatoren als aussagekräftig herausgestellt (Vollrath et al., 2015). Dadurch entsteht die Möglichkeit, sowohl das Blickverhalten als auch das Fahrverhalten in einem experimentellen Setting zu untersuchen, ohne die Probanden einer tatsächlichen Gefahr auszusetzen.

Im Folgenden werden nun Befunde zu verschiedenen Informations- und Kommunikationssystemen bezüglich Beanspruchung während der Fahrt, dem generellen Ablenkungspotential und der Sicherheitsrelevanz exemplarisch dargestellt und erläutert. Das Augenmerk wird zunächst auf realitätsnahe empirische Studien gelegt, dann folgen Meta-Analysen und Reviews, da diese den besten Überblick über die vorhandenen Forschungsergebnisse bieten. Die folgende Zusammenstellung gibt somit einen Einblick in die vielfältigen Arten von Informations- und Kommunikationssystemen mit ihren Potentialen und Gefahren im Hinblick auf den Transfer von Erkenntnissen auf die Verwendung von PHMD.

## **4.1. Erkenntnisse aufgrund von Studien im Realverkehr**

### **4.1.1. Artho, Schneider & Boss, 2012**

Die Untersuchung von Artho, Schneider & Boss (2012) wird den sogenannten «Naturalistic Driving Studies» zugerechnet, im Rahmen derer in Realumgebung das Fahren mittels Videoaufzeichnungen protokolliert werden kann. Diese gelten als optimales Design (Vollrath & Krems, 2011), da sie die natürlichen Verhaltensweisen am ehesten widerspiegeln und somit über ein hohes Mass an offensichtlichem und psychologischem Realismus bieten.

Als Untersuchungsgegenstand wurden Ablenkungsquellen während dem Führen eines Fahrzeugs betrachtet, die von Fahrinformations- und Entertainmentsystemen ausgehen könnten. Dabei wurden die Wirkungsfolgen von fest installierten (onboard) als auch von den Lenkern mit in das Fahrzeug gebrachten Geräten (nomadic) analysiert.

Artho et al. (2012) untersuchten 53 verschiedene Ablenkungsquellen für Fahrzeuglenkende. 149 Probanden liessen sich dazu während einer Woche drei Videokameras in Fahrzeuge einbauen, welche während der Fahrt aufzeichneten.

Für die Auswertung wurde ein Berechnungsmodell entwickelt, das die Faktoren *Auftretenshäufigkeit*, die *durchschnittliche Auftretensdauer* sowie die *Ressourcenbelastung* (Tabelle 1) integrierte; es resultierte die Bestimmung eines Handlungsbedarfs, um die Auftretenswahrscheinlichkeit damit zusammenhängender Unfälle zukünftig zu senken.

*Tabelle 1: Ablenkungsquellen und deren Ressourcenbelastung für Fahrzeuglenkende gemäss Artho et al. (2012). Die Werte entsprechen der Skalierung von 1= keine Beanspruchung bis 100= maximale Beanspruchung.*

Gerät(eklasse), Tätigkeit	Beanspruchung
<b>Smartphone / Telefon</b>	
Betrachten Display/einfache Manipulation	100
Nicht fixiertes Telefon ergreifen/weglegen (aufwändig)	80
Mehrmaliges Tippen	66
Telefonieren ohne Freisprechanlage (Gespräch führen)	66
<b>Navigationsgerät</b>	
Betrachten von Display Navigationsgerät	100
Aufwändige Manipulation am Navigationsgerät	66
Einfache Manipulation am Navigationsgerät	50
<b>Unterhaltungsgeräte</b>	
Betrachten von Videodisplay	100
Einfache Manipulation an nicht fest installiertem Unterhaltungsgerät	100
Tonträger ergreifen/vorbereiten/weglegen (aufwändig)	80
Aufwändige Manipulation an nicht fest installiertem Unterhaltungsgerät	66
Aufwändige Manipulation an fest installiertem Unterhaltungsgerät	66
Tonträger ergreifen/weglegen	60
Tonträger einlegen/entnehmen	50
Einfache Manipulation an fest installiertem Unterhaltungsgerät	50

Artho et al. (2012) sehen beim Telefonieren ohne Freisprechanlage aufgrund der erhöhten Ressourcenbelastung, jedoch vor allem aufgrund der hohen Auftretensdauer den höchsten Handlungsbedarf. An zweiter Stelle befindet sich die Tätigkeit *Mehrmaliges Tippen auf dem Telefon/Smartphone*, was ebenfalls der hohen Auftretensdauer und der erhöhten Ressourcenbelastung geschuldet ist. An dritter und vierter Stelle folgen *Ess-/Trinkwaren konsumieren* – vor allem aufgrund der hohen Dauer – sowie das *Betrachten des Displays/einfache Manipulation* beim Telefon/Smartphone; hier spielt die hohe Belastung die wesentliche Rolle.

Insgesamt lässt sich also folgern, dass gewisse Informationsquellen im Fahrzeug eine hohe Handlungsrelevanz erfordern. Mit Blick auf eine allfällige Verwendung von PHMD kann vermutet werden, dass die mit dem Smartphone im Zusammenhang stehende Ressourcenbelastung in ihren negativen Folgen gemindert werden kann. Dies dürfte insbesondere die motorische, visuelle und auditive Ablenkung betreffen, nicht jedoch die kognitive Belastung. Zudem ist kaum zu erwarten, dass sich die Auftretensdauer und -häufigkeit der Ablenkung verringert.

#### **4.1.2. Birrell, Fowkes & Jennings, 2014**

In einem realitätsnahen Szenario führten Birrell, Fowkes & Jennings (2014) eine Experimentalstudie mit Echtfahrt durch. Dabei prüften sie die kognitive Beanspruchung während der Bedienung von Fahr-

zeuginstrumenten, insbesondere von Fahrinformationssystemen, wie Abstandswarnungen und Kraftstoffverbrauchsanzeigen.

Konkret testeten Birrell et al. (2014) eine « Smart-Driving-Aid Foot-Lite » (s. Abbildung 4), welche Rat-schläge zu sicherem und effizientem Fahren in Echtzeit auf einem Smartphone darstellen kann. Vier-zig Probanden fuhren zu zwei Zeitpunkten eine 50-minütige Strecke, einmal mit und einmal ohne ein-geschalteter Applikation. Die beiden Erhebungszeitpunkte lagen jeweils genau eine Woche auseinander.



Abbildung 4: Darstellung der Smartphone-Applikation «Foot-LITE», welche in Echtzeit Fahrsicherheitsparameter an den Fahrer gibt (Birrell et al., 2014, S. 1802).

Während der Fahrt der Experimentalbedingung erhielten die Studienteilnehmenden ein konstantes visuelles Feedback, welches je nach Fahrverhalten in unterschiedlichen Farben dargeboten wurde. Bei akzeptablen Werten für Abstand, Spurtreue, Getriebewahl und Gas-/Bremsverhalten erschien auf dem Display ein Auto mit grünem Hintergrund. Sobald jedoch einzelne Parameter eine gewisse Schwelle unterschritten – beispielsweise der Abstand zum vorderen Fahrzeug unter 2 Sekunden geriet – änderten sich bestimmte Hintergrundfarben auf dem Display von grün nach gelb, bei sehr starker Abweichung (z.B. Abstand < 2s) nach rot.

Die erhaltenen Tipps hatten sowohl eine 4.1%-ige Effizienzsteigerung im Benzinverbrauch als auch positive sicherheitsrelevante Auswirkungen zur Folge, indem der mittlere Abstand um 13.7 % auf 2.3 Sekunden signifikant erhöht werden konnte. Ebenfalls wurde dreimal weniger Zeit im Abstandsbe-reich von unter 1.5 Sekunden verbracht.

Obwohl besonders die positiven Abstandswerte für die Nutzung der Foot-Lite-App sprechen, machen die Autoren keine Angaben über mögliche negative Auswirkungen der Nutzung. Besonders die Notwendigkeit, das Display stetig zu konsultieren könnte je nach Positionierung des Smartphones im Fahrzeug mit einem hohen Ablenkungspotential behaftet sein.

Zwei wesentliche Befunde lassen sich mit Blick auf die Arbeit von Birrell et al. (2014) ableiten: Einer-seits ist davon auszugehen, dass auch Smartphones über zunehmende Fähigkeiten verfügen, selbst unabhängig von der Fahrzeugelektronik nützliche Informationen aufgrund der eigenen Sensorik be-reitzustellen – und diese ggf. auf ein PHMD zu übertragen. Damit ermöglichen sie – mitunter in Ver-

knüpfung mit der Fahrzeugelektronik mittels einer in vielen Fahrzeugen bereits verfügbaren On-Board-Diagnostics-Schnittstelle oder aufgrund zusätzlicher externer Geräte, wie spezielle Kameras – das Nachrüsten von Assistenzsystemen. Zugleich geraten sie in zunehmenden Verdacht, zu einer sicherheitsabträglichen Ablenkungsquelle zu werden. Dieses Problem wurde in der vorliegenden Studie (Birrell et al., 2014) nicht betrachtet, es sollte dennoch in Erwägung gezogen werden.

#### 4.1.3. Strayer, Cooper, Turrill, Colemand & Hopman, 2015

Der Untersuchungsgegenstand der von Strayer, Cooper, Turrill, Coleman & Hopman (2015) durchgeführten Studie war die Bestimmung der kognitiven Beanspruchung während einer Realfahrt aufgrund der Bedienung von Autoradio und Telefon.

In einer 5-tägigen Simulatorstudie untersuchten die Autoren 257 Probanden, welche zunächst gebeten wurden, sich mit einem von zehn verschiedenen Fahrzeugmodellen aus dem Jahr 2015 vertraut zu machen. In einer Baselinemessung am ersten Tag sollten die Teilnehmenden auf einer Teststrecke entweder ohne Einschränkungen (*Single-Task*) fahren, verschiedene Informations- und Kommunikationssystem-bezogene Aufgaben lösen (*IVIS-Task*) oder Beanspruchungsaufgaben lösen (*OSPAN-Task*). Beispielsweise sollte in der «IVIS-Task» die Frequenz des Radiosenders gewechselt werden oder die eigene Telefonnummer auf einem Smartphone gewählt werden (s. Tabelle 2). Die OSPAN-Task bestand aus einer auditiven Version der Operation-Span-Aufgabe, ein Verfahren zur starken kognitiven Beschäftigung von Personen (z.B. Wortreihen merken bei gleichzeitiger Beantwortung von Mathematikaufgaben). Nach jeder Aufgabe wurde erfragt, wie stark die Probanden beansprucht wurden und anhand einer «Detection-Response-Task» wurde die selektive Aufmerksamkeit gemessen.

*Tabelle 2: Aufgaben, die in der «Ivis-Task» Bedingung von den Probanden zu lösen waren.*

Aufgabe	Beschreibung
1	Call from your contacts Joel Cooper.
2	Tune your radio to 98.3 FM. ( <i>wenn erfüllt:</i> ) Tune your radio to 1320 AM.
2b	(for the Nissan and Volkswagen vehicles): Call from your contacts Chris Hunter.
3	Dial your own phone number.
4	Tune your radio to 1160 AM. ( <i>wenn erfüllt:</i> ) Tune your radio to 90.1 FM.
4b	(for the Nissan and Volkswagen vehicles): Dial your own phone number.
5	Call from your contacts Amy Smith at work.
6	Dial your own phone number.

Fünf Tage nach dieser Baselineerhebung wurden die Probanden in einer Follow-Up-Messung erneut unter denselben Bedingungen während einer Fahrt getestet. Dabei zeigte sich, dass jene Bedienaspekte, die den Probanden bereits am ersten Tag Mühe bereitet hatten auch nach ausgiebigem Üben während fünf Tagen weiterhin die grössten Probleme verursachten. Insgesamt konnte trotz dieser Übungsphase das Beanspruchungslevel nur geringfügig gesenkt werden. Auf einer 5-Punkte-Likert-Skala gaben die Probanden im Schnitt einen Wert von 3.34 Punkten für die Beanspruchung während der Ausführung der IVIS-Aufgabe an, was gemäss den Autoren einem mittleren bis hohen Mass an Workload entspricht.

Zwei Faktoren hatten massgebenden Einfluss auf die Bedienung der Informations- und Kommunikationssysteme während der Fahrt. Bei jenen Systemen, die eine geringere Komplexität aufwiesen oder

intuitiv zu bedienen waren, wurden sowohl die Aufgaben in deutlich kürzerer Zeit erfüllt als auch die Beanspruchung als geringer eingestuft.

Ebenfalls konnte identifiziert werden, dass ältere Personen im Vergleich zu jüngeren Fahrzeuglenkenden bei der Bedienung der borgelegenen Kommunikationssysteme stärker beansprucht wurden. Während sich ältere Personen nur geringfügig höher bei der freien Fahrt an sich beansprucht fühlten, stieg dieser Unterschied deutlich während der Bedienung der IKS an. Ältere Fahrzeuglenkende verarbeiteten aufgrund der höheren Beanspruchung auch während der Fahrt deutlich weniger – im peripheren Blickfeld erscheinende – Informationen (s. Abbildung 5).

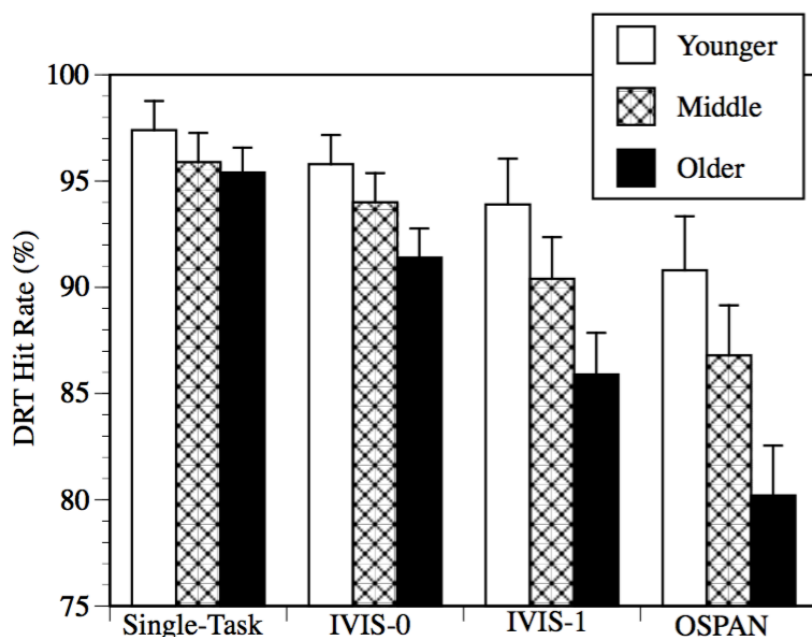


Abbildung 5: Erkennungsrate im peripheren Blickfeld erscheinender Reize in Abhängigkeit von der Untersuchungsbedingung (Single-Task = ohne Zusatzaufgabe, IVIS-0 = zwischen und IVIS-1 = während der aktiven Bearbeitung der Aufgaben im Zusammenhang mit Informations- und Kommunikationssystemen, OSPAN = Beanspruchungsaufgabe) sowie mit verzeichneter Konfidenzintervalle (Strayer et al., 2015, S. 19).

Eine zusätzliche Auswertung der Daten zeigte, dass nicht nur die momentane Bedienung des IKS einen starken Einfluss auf den kognitiven Workload hatte, sondern auch die unmittelbare Zeit danach. So fanden die Autoren, dass die Personen im Schnitt noch 27 Sekunden nach der Bedienung benötigten, um wieder auf das Ausgangsniveau an Beanspruchung einer der simplen Fahrt zu kommen.

Deutlich wird anhand dieser Studie, dass insbesondere ältere Verkehrsteilnehmende von einer ungünstigen, z.B. überladenen Darstellung von Informationen auf einem Display benachteiligt sind, was sich etwa durch eine verringerte Erkennung von Hinweisreizen am Rande des Blickfelds äußert; dieser Effekt wird auch als «Visual Tunneling» oder als Tunnelblick beschrieben. Dies führt zu der Annahme, dass eine Beurteilung von Folgen der Nutzung von PHMD insbesondere bei älteren Verkehrsteilnehmenden durchgeführt werden sollte – ein Anspruch, dem bislang kaum eine Studie gerecht wird (vgl. Abschnitt 1.2).

## 4.2. Erkenntnisse aufgrund von Simulatorstudien

### 4.2.1. Brookhuis, van Driel, Hof, Arem & Hoedemaeker, 2009

Die Befunde in der von Brookhuis, van Driel, Hof, van Arem & Hoedemaeker (2009) durchgeführten Simulatorstudie geben Aufschluss über die kognitive Beanspruchung während der Verwendung eines fest im Fahrzeug installierten Fahrassistenzsystems. Dazu wurde ein Stau-Assistent an 37 Probanden getestet. Erhoben wurde dabei die kognitive Beanspruchung mittels Herzratenmessung, Befragung und einer Signalentdeckungsaufgabe sowohl mit und ohne Stau-Warnassistenzsystem.

Die Autoren gehen davon aus, dass die Beanspruchung der Fahrzeuglenkenden mit Stau-Warnassistenz deutlich zurückgehen müsse, denn der Stau-Warnassistent warne den Fahrzeuglenkenden über kommende Staus und liefere diesbezüglich nützliche Informationen. Beispielsweise wird die Länge des Staus in Echtzeit dargestellt. Zusätzlich war das Gaspedal mit einem Force-Feedback versehen, wenn sich das Fahrzeug im Verhältnis zur Stau-Situation zu schnell bewegte. Sobald sich das Fahrzeug in einem Stau befand, übernahm die Assistenz autonom die „Stop & Go“-Fahrt und regulierte die Geschwindigkeit des eigenen Fahrzeugs und den Abstand zum Vorderfahrzeug.

Es stellte sich zwar heraus, dass die kognitive Beanspruchung während der assistierten Fahrt im Stau reduziert war, jedoch schnitten die Probanden zu Beginn und am Ende eines Staus schlechter in einer Nebenaufgabe ab, innerhalb derer sie Signale im peripheren Blickfeld zu entdecken hatten (s. Abbildung 6). Somit waren die Probanden stärker abgelenkt wenn sie sich einem Stau näherten oder sich dieser wieder auflöste. Die Auswertung der Herzratenvariabilität zeigte ebenfalls, dass die Studienteilnehmenden kurz nach einem Stau erhöhte Stresswerte verzeichneten, wenn das System eingeschaltet war.

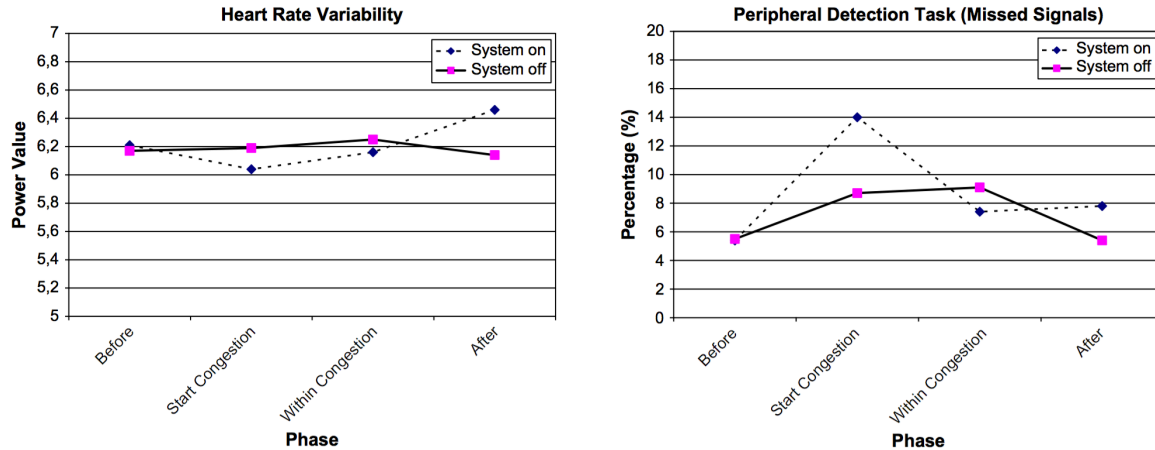


Abbildung 6: Herzratenvariabilität als Stressindikator sowie die prozentuale Häufigkeit der übersehenen Signale im peripheren Blickfeld jeweils mit und ohne dem aktivierten Fahrassistenzsystem, welche vor, während und nach Stau bestimmt wurden (Brookhuis et al., 2009, S. 1023).

Im Rahmen dieser Studie kann verdeutlicht werden, dass die – fortlaufende – Visualisierung von Informationen durch Fahrassistenzsysteme zugleich Vor- und Nachteile besitzt. Besonders deutlich werden solche Effekte unter der Bedingung, dass zugleich mehrere Signale innerhalb und ausserhalb des Fahrzeugs zu verarbeiten sind, die zudem eine höhere Komplexität aufweisen. Mit Blick auf PHMD bedeutet dies, dass die Qualität und vor allem auch die Quantität der dargestellten Informatio-



er der Blickabwendung geringer werden dürfte als sie bei einem in der Fahrzeugelektronik integrierten Display offenkundig ist. Zu hinterfragen ist jedoch, ob bzw. welches Kompensationsverhalten Fahrzeuglenkende aufgrund des – vermeintlich oder tatsächlich – geringeren Risikos, das mit verringerten Blickabwendungen einher geht, initiieren. Ähnlich könnte sich die Frage bezüglich der in der vorliegenden Studie identifizierten Gewöhnungseffekte darstellen. Denkbar wäre beispielsweise mittel- und langfristig, dass deutlich mehr, längere sowie komplexere Nachrichten verarbeitet werden.

#### 4.2.3. Jiménez, Bergasa, Nuevo, Hernández & Daza, 2012

Jimenez et al. (2012) evaluierten in einer experimentellen Fahrsimulatorstudie den Grad an Ablenkung durch verschiedene Informations- und Kommunikationssysteme (GPS, On-Board-Computer, Tacho und Freisprechtelefonie) mit Blick-Parametern an 12 Probanden. In verschiedenen Szenarios wurden die Probanden gebeten systembezogene Aufgaben zu lösen (z.B. Bedienung des Bordcomputers, Beantwortung eines Telefonanrufs oder das Einstellen einer GPS-Route).

In Abhängigkeit der durchzuführenden Aufgabe resultierten deutliche Unterschiede bezüglich der Zeit, während der die Blicke auf die Strasse gelenkt waren (in der Studie beschrieben mit PRC = Percent Road Centre; s. Abbildung 8).

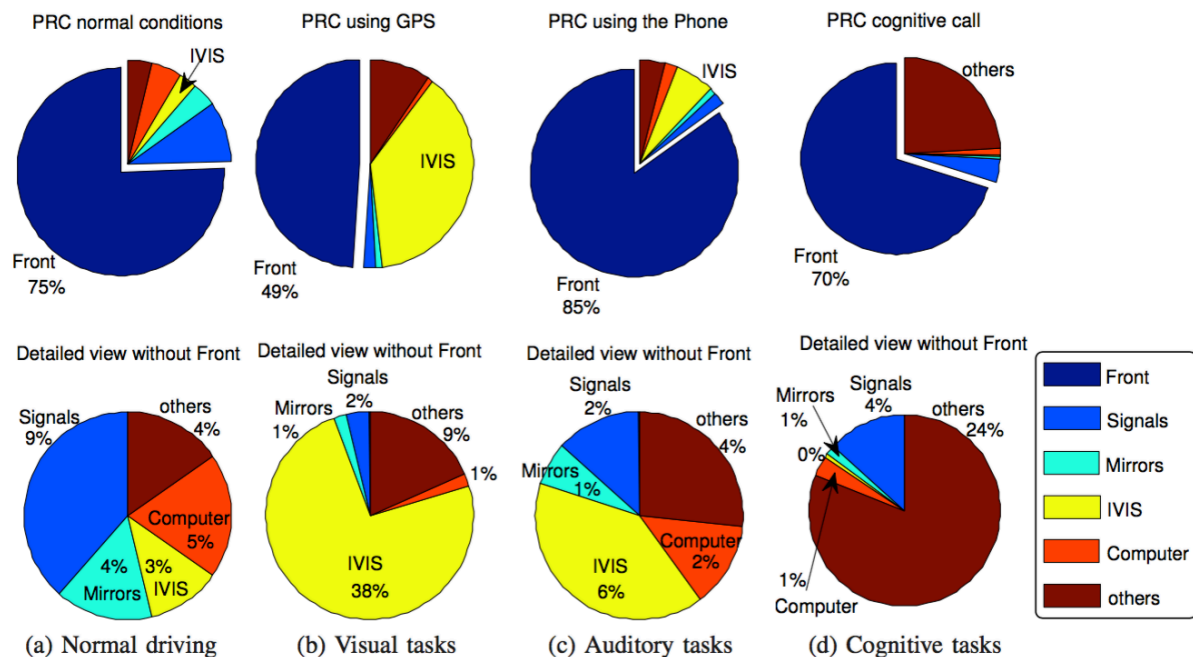


Abbildung 8: Prozentuale Verteilung der Blicke auf die verschiedenen Aufmerksamkeitsquellen. Die oberen vier Diagramme kennzeichnen die Blickverteilung unter normalen Bedingungen (links), während der Bearbeitung von Aufgaben mithilfe eines Navigationssystems (Mitte-links), während der Nutzung eines Telefons mit Freisprecheinrichtung (Mitte-rechts) sowie während der Durchführung kognitiv beanspruchender Aufgaben (rechts). Bei letzterer Aufgabe sollte im Rahmen eines Anrufs eine Route beschrieben werden. Die unteren vier Diagramme vergrößern den Ausschnitt der Daten, die sich nicht auf den Blick nach vorne auf die Strasse beziehen (Jimenez et al., 2012, S. 10).

Während der Bedienung von Navigationsgeräten wendeten die Probanden rund die Hälfte der Blickdauer nach vorne auf die Strasse (PRC, 49%). Die restliche Zeit fiel der Blick besonders auf das Informations- und Kommunikationssystem (hier: Navigationsgerät) mit 38% der gesamten Blickdauer.



Die Tätigkeit eines Anrufes mit Freisprecheinrichtung hatte zur Folge, dass die Probanden im Vergleich zur Kontrollfahrt (75%) den Blick vermehrt nach vorne richteten (85%), was mit sogenannten Kompensationsstrategien zu erklären ist. Dabei wurde jedoch nur geringfügig länger auf die Freisprechanlage geachtet (6% vs. 3%).

Lange und häufige Blickabwendungen sind also offenbar die Folge der Konfrontation mit Informations- und Kommunikationssystemen, wobei in der vorliegenden Untersuchung vor allem der Umgang mit Navigationssystemen für das Abschweifen des Blickes sorgte (Jimenez et al., 2012). An dieser Stelle wäre eine Verbesserung der Situation durch die Nutzung von PHMD zu erwarten, wie sie bereits im Rahmen von einzelnen Studien belegt worden ist (s. Abschnitte 2.0.1 und 2.4.5): Der Blick des Fahrers könnte länger nach vorne auf die Strasse gerichtet sein, da bei der Nutzung von PHMD geringere Blickabwendungen bei zugleich geringeren Akkommodationsleistungen im Vergleich zu HDD und HUD nötig wären.

#### **4.2.4. Wynn, Richardson & Stevens, 2013**

In einer simulationsnahen Testumgebung wurde die kognitive Beanspruchung während der Nutzung von fahrzeuginternen und beweglichen Informations- und Kommunikationssystemen bestimmt.

Wynn, Richardson & Stevens (2013) verglichen in einer Experimentalstudie die Ablenkungspotentiale von Informations- und Kommunikationssystemen mit dem Fahren in alkoholisiertem Zustand mit 0.8 Promille Blutalkoholkonzentration. Dazu wurden 13 Probanden einbezogen, welche unter drei verschiedenen Bedingungen eine Fahrspurwechsel-Aufgabe an einem "Lane-Change-Simulator" absolvieren sollten. In einer ersten Bedingung wurde anhand des uneingeschränkten Fahrens eine Baselinemessung erhoben, in einer zweiten Bedingung sollten die Probanden ein Informations- und Kommunikationssystem bedienen und eine weitere Bedingung enthielt das Fahren mit erhöhter Blutalkoholkonzentration. Während der zweiten Bedingung wurden vier verschiedene Aufgaben gestellt, welche während der Spurwechselaufgabe auf einem Display bearbeitet werden sollten:

- Eine Destination in der Navigationsfunktion mithilfe "points of interest" auf einem externen Gerät (Hewlett Packard IPAQ) eintippen,
- eine Destination auf dem Navigationsgerät über die Adress-Funktion eingeben,
- eine Wortsuchaufgabe auf dem onboard Display lösen (einfache Variante) sowie
- eine Wortsuchaufgabe auf dem onboard Display lösen (schwierige Variante).

Es zeigte sich, dass sämtliche vier Aufgaben, die die Bedienung von Informations- und Kommunikationssystemen umfassten, zu einem schlechteren Abschneiden in der Spurwechselaufgabe führten als die Baseline- und die Alkoholeinfluss-Bedingungen, welche sich voneinander nicht unterschieden. So schnitten die Probanden in angetrunkenem Zustand nur geringfügig schlechter ab wie ohne Alkoholkonsum. Als Erklärung wurde von Wynn et al. (2013) angebracht, dass die Alkoholintoxikation entweder nicht wunschgemäss funktionierte oder diese Aufgabe trotz Alkoholkonsum gut gelöst werden konnte.

Die Autoren plädieren trotzdem aufgrund ihrer Resultate dafür, dass für die Bedienung von fahrzeuginternen Informations- und Kommunikationssystemen, analog zum Umgang mit Alkohol am Steuer, ebenfalls Toleranzgrenzen respektive Richtlinien für deren Nutzung während der Fahrt eingeführt werden sollten.

Die Nutzung von PHMD verspricht eine Milderung der negativen Folgen der in von Wynn et al. (2013) durchgeführten Studie, sofern sie auf eine ungünstige Blickführung zurückzuführen sind. Der kognitiv beanspruchende Anteil jedoch, der zu schlechteren Fahrleistungen führte, dürfte von PHMD nicht ab-

geschwächt werden. Sofern sogar zusätzliche Bedingungen durch ein PHMD geschaffen werden sollten, die im Zusammenhang mit kognitiv beanspruchenden Verhalten stehen, wären dessen Nutzung eher als problematisch einzustufen.

### **4.3. Erkenntnisse aufgrund von Meta-Analysen und Literaturreviews**

#### **4.3.1. Green, 2000**

Der kognitiven Beanspruchung ausgelöst durch die Bedingung von Informations- und Kommunikationssystemen während der Autofahrt widmet sich das Review von Green (2000). In einem Essay geht der Autor drei verschiedenen Fragen bezüglich Informations- und Kommunikationssystemen nach:

- Führt die Nutzung von Informations- und Kommunikationssystemen zu mehr Unfällen?
- Welche Beschäftigungen mit Informations- und Kommunikationssystemen führen zu mehr Unfällen?
- Wie kann die Bedienungsschnittstelle von Informations- und Kommunikationssystemen gestaltet werden, um das Risiko zu minimieren?

Green (2000) kommt aufgrund seiner Ausführungen zum Schluss, dass das Risiko für einen Unfall signifikant erhöht ist, wenn Mobiltelefone während der Fahrt benutzt werden (ungefähr um den Faktor 3); je häufiger es während der Fahrt benutzt wird, desto höher steigt die Gefahr. Ebenfalls gebe es Evidenz dafür, dass Navigationssysteme mit Unfällen in Verbindung gebracht werden, allerdings basierten diese Befunde auf weniger Studien.

Dabei verweist der Autor auf zwei verschiedene Charakteristika von Informations- und Kommunikationssystemen, die zu Unfällen führen können: Einerseits die Notwendigkeit, den Blick für die Nutzung eines IKS von der Strasse abzuwenden («eyes-off-of-the-road»), andererseits die Aufmerksamkeit abschweifen zu lassen («mind-off-of-the-road»). Dabei wird besonders die Blickabwendung von der Strasse als fatal eingestuft. Je länger der Blick für die Bedienung eines IKS von der Strasse abschweife, desto höher wäre das Unfallrisiko einzustufen.

Eine durch Green (2000) durchgeführte Auswertung nationaler Unfalldaten in Japan zeigt, dass hinsichtlich der Nutzung von Mobiltelefonen insbesondere das Erhalten von Anrufen sowie das Wählen einer Telefonnummer die häufigsten Unfallursachen seien (s. Tabelle 3). Beide Aufgaben werden mit einem starken Abschweifen des Blickes von der Strasse in Verbindung gebracht. Auch bei der Nutzung von Navigationsgeräten berge der abweichende Blick das grösste Gefahrenpotential.

*Tabelle 3: Anzahl von Unfällen während der Durchführung der benannten ablenkenden Tätigkeiten im Zeitraum Januar-November 1999 in Japan (Green, 2000, S. 4).*

Gerät(eklasse), Tätigkeit	Anzahl Unfälle
<b>Telefon</b>	
Anruf erhalten	1'077
Wählen	504
Sprechen	350
Andere	487
Summe	2'418
<b>Navigationssysteme</b>	
Blick auf das Navigationssystem	151
Bedienung	46
Andere	8
Summe	205

Unter Berücksichtigung der Annahmen von Green (2000) dürfte sich die Verwendung von PHMD als grosser Sicherheitsvorteil herausstellen, da davon auszugehen ist, dass die Blickabwendungen von der Strasse reduziert werden könnten. Tatsächlich finden sich dazu zahlreiche Befunde (s. Abschnitt 1.2), die jedoch im Wesentlichen die andere zentrale Hypothese Green (2000) unüberprüft liessen: Ist das Abschweifen der Aufmerksamkeit (« mind-off-of-the-road ») tatsächlich relativ zur Blickabwendung unerheblich?

#### **4.3.2. Caird, Willness, Steel & Scialfa, 2008**

Die Meta-Analyse von Caird, Willness, Steel & Scialfa (2008) betrachtet insbesondere den Einfluss der Benutzung von Informations- und Kommunikationssystemen auf die Reaktionszeiten von Fahrzeuglenkenden. Dabei wurden Erkenntnisse von fahrzeuginternen wie -externen Geräten bestimmt.

Insgesamt wurden 33 Studien zusammengefasst, die sich primär mit der Thematik des Telefonierens am Steuer befassten. Insgesamt konnten 94 Effektgrössen basierend auf 2000 Versuchspersonen miteinander verglichen werden.

26 der Studien befassten sich mit den Auswirkungen verschiedener Aufgaben auf die Reaktionszeiten während einer Fahrt. Insgesamt führte die Beschäftigung mit verschiedenen Aufgaben im Schnitt zu einer Erhöhung der Reaktionszeit um .25 Sekunden (s. Tabelle ).

*Tabelle 4: Veränderung der Reaktionszeiten in Abhängigkeit der Ausführung unterschiedlicher Nebenaufgaben gemäss einer Meta-Analyse (modifiziert n. Caird et al., 2008, S. 1287).*

Variable oder Bedingung	mittlere Erhöhung der Reaktionszeit (s)
Alle ablenkenden Aufgaben	0.25
Telefon ohne Freisprecheinrichtung	0.21
Telefon mit Freisprecheinrichtung	0.18

Kognitive Aufgabe	0.33
Konversation allgemein	0.14
Eingabe einer Telefonnummer	0.36
Konversation mit Mitfahrern	0.20
Radio oder anderen Quellen zuhören	0.05

Einen besonders starken Einfluss auf die Reaktionszeiten hatten Aufgaben, die kognitive Ressourcen stark beanspruchten sowie die Bedienung des Smartphones. Des Weiteren ergab die Meta-Analyse, dass das Telefonieren mit Freisprechanlage ein ähnliches Ablenkungspotential wie das Telefonieren mit dem Handy am Ohr birgt und dass Fahrzeuglenkende während dem Telefonieren in der Regel keine kompensatorischen Verhaltensweisen an den Tag legten, wie beispielsweise die Geschwindigkeit zu reduzieren und Abstände zu anderen Verkehrsteilnehmenden zu erhöhen. Sowohl die in der Metaanalyse eruierten Ergebnisse aus Fahrstudien als auch aus Feldstudien kamen dabei zu denselben Schlüssen.

Für den Einsatz von PHMD in Fahrzeugen lässt sich im Wesentlichen schliessen, dass vermutlich die relativ zum HDD verbesserte Anordnung von Informationen im Blickfeld des Verkehrsteilnehmers weniger sicherheitsrelevant ist als das Ausmass der kognitiven Beanspruchung, die daraus allenfalls folgt. Ebenso zeigt sich erneut, dass das Ausmass der im PHMD dargestellten Informationen ein wesentlicher Schlüssel bei der Frage der Bewertung der Sicherheit ist. Vor diesem Hintergrund sollte mit Bedacht bestimmt werden, wie kognitiv beanspruchend die Inhalte sein könnten, die – während der Autofahrt – mittels eines PHMD ausgegeben werden.

#### **4.3.3. Weitere Befunde auf Basis von Meta-Analysen und Literaturreviews**

In einer umfassenden Meta-Analyse zum Ablenkungspotential verschiedener Informations- und Kommunikationssysteme haben Vollrath et al. (2015) Befunde aus 53 verschiedenen Studien zusammengetragen und statistisch ausgewertet.

Eine Auswertung der Nutzungshäufigkeit und -dauer ergab, dass das Audiosystem das am häufigsten während einer Fahrt benutzte Informations- und Kommunikationssystem sei. Die längste Tätigkeit mit Bezug zu Informations- und Kommunikationssystemen während des Fahrens stellt jedoch das Telefonieren dar. Obwohl entsprechende Daten methodisch bedingt bezüglich des Schreibens und Lesens von SMS fehlten, gehen die Autoren von ähnlichen Nutzungshäufigkeiten aus wie für das Telefonieren. Deutlich seltener werde die Bedienung der Klimatisierungssysteme genutzt. Navigationsgeräte dürften gemäss Vollrath et al. (2015) besonders in fremden Umgebungen häufig während der Fahrt bedient und benutzt werden, nur selten jedoch in bekannten Umgebungen.

Das Ausmass an Beeinträchtigung der einzelnen IKS wurde unter Einbezug sämtlicher Studien zusammengefasst (s. Abbildung 9). Auch was die Beeinträchtigung während der Fahrt anbelangt, seien es den Autoren zufolge die kommunikationsbezogenen Systeme, welche das höchste Ablenkungspotential umfassten (SMS Lesen und Schreiben, Telefon bedienen und Telefonieren). Ebenfalls berge die Bedienung von Navigationsgeräten ein sehr hohes Mass an Beeinträchtigung.

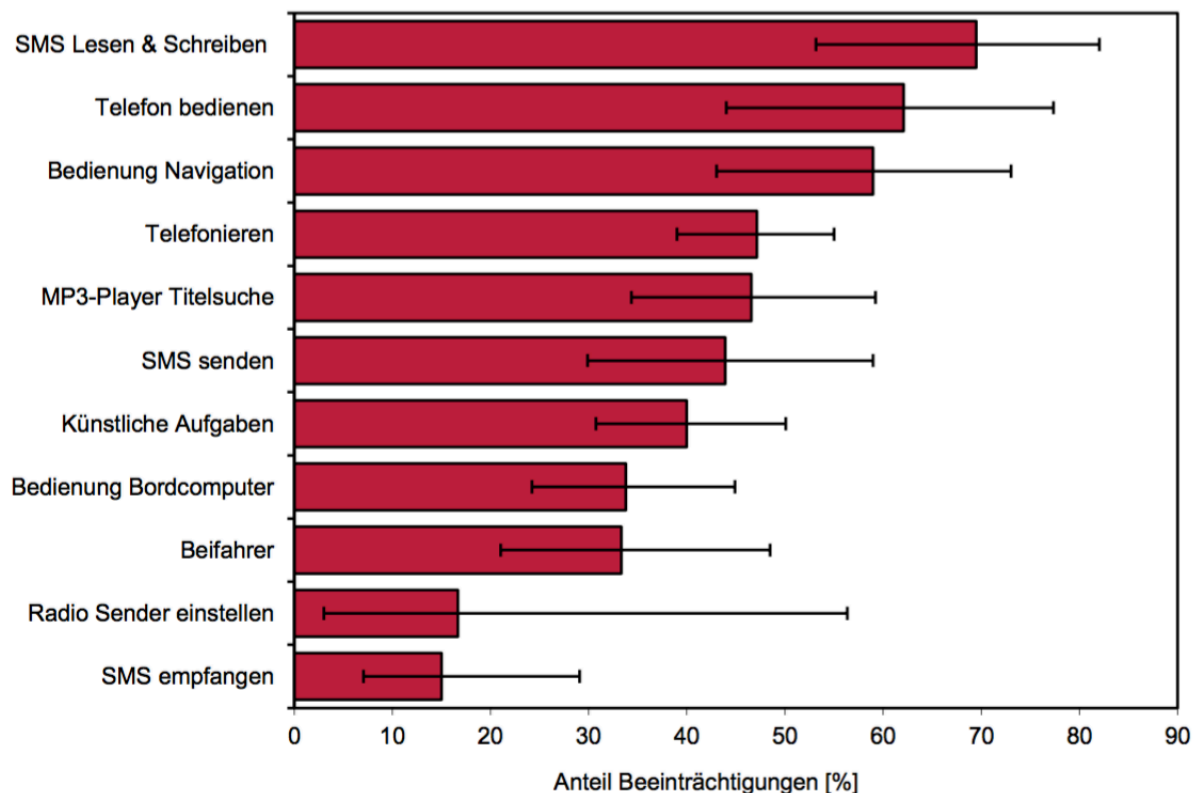


Abbildung 9: Prozentualer Anteil der Beeinträchtigungen während der Autofahrt aufgrund verschiedener fahrzeuginterner Ablenkungsquellen (Vollrath et al., 2015, S. 67).

Die Autoren vergleichen ihre Resultate in einer Zusatzauswertung darüber hinaus mit Befunden hinsichtlich des Beeinträchtigungspotentials verschiedener Blutalkoholkonzentrationen, aufgrund derer das Schreiben (und Senden) von Kurznachrichten am Telefon, die Bedienung von Navigationsgeräten und Telefonen generell sowie die Bedienung des Bordcomputers Tätigkeiten sind, die die höchsten Gefahren bedingen.

Es kann gefolgert werden, dass wenn man das Beeinträchtigungspotential mit der momentan schweizerisch geltenden Gesetzgebung vergleichen würde (0.5 Promille generell, 0.1 Promille für Neulenkende), so würde das Bedienen von Bordcomputern, Navigationsgeräten und Mobiltelefonen die 0.5-Promille-Schwelle bereits überschreiten, wobei das SMS Schreiben und Senden sowie Telefonieren ohne Freisprechanlage während der Fahrt bereits gesetzlich verboten sind.

Die Nutzung von PHMD kann aufgrund der Möglichkeit zur Spracheingabe die Gefahr, die vom Schreiben von (Kurz-)Nachrichten und der Bedienung des Telefons bzw. des Navigationsgeräts ausgeht, verringern (s. Abschnitte 2.0.1-2.3.4). Dies setzt jedoch voraus, dass das PHMD eine möglichst fehlerfreie Spracherkennung ermöglicht. Darüber hinaus ist zu bedenken, dass zahlreiche bereits beschriebene Studien darauf hinweisen, dass selbst Systeme mit der Möglichkeit zur Spracheingabe regelmässig zu schlechteren Fahrleistungen führen, als wenn keine Ablenkung von der Führung eines Fahrzeugs vorliegt.

In einem Essay zu Gefahren von Fahrassistenzsystemen (FAS) kommt Ewert (2014) zu folgendem Schluss:

*«Einige FAS beanspruchen die Aufmerksamkeit der Lenkenden und können somit vom Strassenver-*

*kehr ablenken. So führt die Bedienung von Geräten im Fahrzeug generell zu leicht verringerter Geschwindigkeit, mehr Querbesehleunigung, langsamerer und weniger genauer Identifikation von Objekten in der Peripherie sowie einer leichten Verlängerung des Anhaltewegs. Die Bedienung von Navigationssystemen geht mit geringeren Geschwindigkeiten und um bis zu 50 % reduzierten Blicken auf die Strassen einher. Auch das Fahren anhand des Navis führt zu Veränderungen, so verfährt man sich häufiger und es kommt zu Fehlern beim Bremsen. » (S. 13f)*

#### **4.4. Zusammenfassung der Befunde zu visuellen Ablenkungsquellen im Fahrzeug und deren Auswirkungsabschätzung auf PHMD**

Übereinstimmend kommen zahlreiche Studien zu dem Schluss, dass die höchsten Ablenkungsgefahren von Informations- und Kommunikationssystemen ausgehen. Dabei spielen Systeme, wie «Infotainment» – also die Kombination von Informationen und Entertainment – eine wesentliche, wenngleich ungünstige Rolle hinsichtlich der Dauer und der Häufigkeit der Blickabwendungen (s. auch Metz, 2009). Darüber hinaus sorgen Navigationsgeräte sowie die Bedienung des Smartphones für häufige und lange Blickabwendungen. Sämtliche genannte Quellen sorgen zudem für kognitive und motorische Ablenkungen.

Mit Ausnahme der fahrspezifischen Daten, die in der Regel im HDD und manchmal auch im HUD des Fahrzeugs dargestellt werden, lassen sich viele dieser Quellen auch in einem PHMD darstellen. Darüber hinaus ist zu erwarten, dass auch fahrspezifische Daten analog zu Assistenzsystemen zunehmend auch autonom vom PHMD bzw. dem damit verknüpften Smartphone erhoben werden können – entweder über die On-Board-Diagnostics-Schnittstelle des Fahrzeugs oder mithilfe zusätzlicher Geräte, die z.B. via Funkverbindung mit dem Smartphone verbunden werden. Diese Vorgehensweise würde zudem ermöglichen, dass Fahrzeuge, die mit entsprechenden Assistenzsystemen nicht ausgestattet sind, nachgerüstet werden könnten.

Unumstritten ist somit, dass die Zahl der Blickabwendungen von der Strasse und deren Dauer mithilfe der Nutzung von PHMD verringert werden könnten, was grundsätzlich gegenüber der mitunter sehr problematischen Situation ein deutlicher Sicherheitsgewinn wäre. Zu einer Verbesserung der jetzigen Situation würde auch die Möglichkeit der Spracheingabe bei entsprechend ausgerüsteten PHMD beitragen.

Insgesamt könnte die auditive, visuelle und motorische Ressourcenbelastung ausgehend von Informations- und Kommunikationssystemen mithilfe von PHMD möglicherweise reduziert werden. Allerdings ist zu befürchten, dass die kognitive Ablenkung zumindest auf ähnlichem Niveau wie bislang verharret bzw. selbst bei einer Verbesserung der Situation ein unter Sicherheitsüberlegungen weiterhin nicht akzeptables Mass an allgemeiner Ablenkung erreicht wird.

Dies deutet auf einen drohenden Effekt hin, der sich in mehreren Studien wiederfindet, nämlich dass die Nutzung von PHMD aufgrund einer höheren Auftretensdauer und -häufigkeit von Informationsdarstellungen der Grad der Ablenkung sogar steigen könnte. Die Quantität der dargestellten Informationen im PHMD ist also ein mindestens ebenso relevanter Faktor wie die Qualität: Um beispielsweise der Attention Capture zu entgehen sind ergonomische Voraussetzungen zu klären. Dazu gehört eine Standardisierung der Darstellungsweise z.B. hinsichtlich der verwendeten Symbolik, deren Anordnung oder der Anzahl der verwendeten Farben. Ferner wird bei der zunehmend auf die «normal» Fahrzeugarmatur bezogenen Diskussion (New York Times/Stephen Williams, 2016), insbesondere hinsichtlich PHMD, zu betrachten sein, ob bzw. welche dynamischen Inhalte dargestellt werden könnten und welche Folgen sich für die sichere Fahrt ergeben. Mit zunehmender Fülle an Informationen, die mithilfe der Fahrzeugelektronik oder dem Smartphone generiert und dargestellt werden könnten, wird zudem sicherheitsrelevant sein, wie gut und schnell diese zugänglich sind: Mehr als ein, zwei

Befehle bis die korrekte Information erreicht ist, dürften die Aufmerksamkeit von Fahrzeuglenkenden inakzeptabel stark binden.

Schliesslich erscheint aufgrund der vorliegenden Erkenntnisse zu den Auswirkungen der Nutzung von Informations- und Kommunikationssystemen eine umfassende Überprüfung von PHMD angeraten, welche die Wirkungsfolgen, insbesondere bei älteren Verkehrsteilnehmenden, sowie eine Gewöhnung und der damit zugleich drohenden Ausweitung der Nutzung abschätzen kann.

## 5. Befunde aus wahrnehmungspsychologischer Sicht (E. Reijnen & L. Laasner)

Es ist hinlänglich bekannt, dass die Fahrleistung von Autofahrern, die gleichzeitig noch telefonieren, beeinträchtigt ist (z.B. Crundall, Bains, Chapman & Underwood, 2005; Drews, Pasupathi & Strayer, 2008; Strayer et al., 2003); dabei spielt es keine Rolle, ob mit oder ohne Freisprechanlage telefoniert wird (Treffner & Barrett, 2004). Ironischerweise ist die Fahrleistung gemäss Strayer, Drews & Crouch (2006) identisch mit einem Autofahrer, der mit einem Alkoholpegel von 0.8 Promille im Blut unterwegs ist, auch wenn sich die Art der Beeinträchtigung unterschiedlich manifestiert. So führt Telefonieren (mit / ohne Freisprechanlage) zu einem verzögerten Bremsverhalten, während Alkohol ein aggressiveres Fahrverhalten wie zu nahes Auffahren bedingt.

Die entscheidende Frage ist, ob das Einblenden von Informationen «in» das Gesichtsfeld des Nutzers (s. Abbildung 10), wie dies beispielsweise bei sog. Head-Mounted-Displays resp. „Google Glass“ der Fall ist, ebenfalls zu einer Beeinträchtigung der Fahrleistung führt.



Abbildung 10: Adam fragt: « Want to meet for coffee? »

Wir versuchen diese Frage mit Hilfe von Erkenntnissen aus der grundlagenorientierten Wahrnehmungsforschung resp. der Rolle der Aufmerksamkeit in der Wahrnehmung (wie beispielsweise der Objekterkennung), zu beantworten (Evans et al., 2011). Basierend auf diesen Erkenntnissen leiten wir Empfehlungen ab, welche Informationen bestenfalls mittels HMD ins Gesichtsfeld eingeblendet und somit genutzt werden können.

Die Quintessenz vorweg: Eine der aktuellsten Studien (Young et al., 2016) zeigt, dass das Lesen von Text, wie etwa „want to meet for coffee“ (s. Abbildung 10), der mittels Google Glass im Gesichtsfeld des Autofahrers präsentiert wird, im Vergleich zu einem „normalen“ Fahrzustand zu einer stärkeren Beeinträchtigung im Halten der Spur oder zu einem vermehrten Übersehen von Verkehrsschildern wie Spurwechsel führt. Diese Befunde stehen im Einklang mit zahlreichen, im Folgenden benannten Erkenntnissen. So zeigen die Resultate, beispielsweise aus der Wahrnehmungsforschung, welche dargestellt werden, dass das Verstehen von Text komplexe Verarbeitungsschritte verlangt. Dadurch stehen weniger Ressourcen fürs Fahren zur Verfügung.

Im folgenden Kapitel wird beschrieben, wie der Mensch im Allgemeinen Objekte wie ein Baum, eine Strasse, etc. seiner Umwelt verarbeitet. Darauf aufbauend lässt sich zeigen, welche Schritte dieses Prozesses Aufmerksamkeit benötigen, resp. welche nicht.



## 5.1. Wahrnehmung

Ein fundamentales Ziel der Wahrnehmung besteht darin, uns eine möglichst exakte Beschreibung der Objekte unserer Umwelt zur Verfügung zu stellen. Dies beinhaltet in erster Linie das Wissen um «was es sich handelt», «wo es sich befindet» und «was man damit tun kann». Wenn wir beispielsweise erkannt haben, dass es sich beim auf der rechten Seite erscheinenden Objekt um ein heranrennendes Kind handelt, können wir angemessen darauf reagieren (z.B. bremsen).

Wie gelangt unser Wahrnehmungsapparat nun zu dem Wissen, um was es sich handelt (sog. Objekterkennung)? Gegenwärtig geht man von einer 3-stufigen Verarbeitung aus. Nachdem auf einer ersten Stufe («low vision») die sich im Sehfeld befindlichen Merkmale, wie Farbe, Orientierung, Grösse, Form, etc., verarbeitet, resp. analysiert, werden (Merkmalsanalyse), sorgen auf der zweiten Stufe («middle vision») unter anderem sog. Gruppierungsprozesse wie Gestaltgesetze dafür, dass unser visuelles System weiss, was zusammengehört, resp. was nicht. Des Weiteren wird auf dieser Stufe bestimmt, was die Figur (Vordergrund), resp. der Grund (Hintergrund) ist (die sog. Figur-Grund-Trennung). Auf der letzten Stufe («high vision») werden die nun gegliederten und als Figur klassifizierten Objekte identifiziert (Kategorisierung von Objekten). Dies ist die Aufgabe der sog. Mustererkennung (z. B. durch Schablonenabgleich oder strukturelle Beschreibungen), bei der die auf unserem Augenhintergrund (Netzhaut oder Retina) projizierten Informationen mit bereits in unserem Gedächtnis gespeicherten Repräsentationen der Objekte abgeglichen werden. Ist dieser Prozess erfolgreich, können wir das gesehene Objekt auf einer der folgenden Stufen kategorisieren: superordinate (Tier, Fahrzeug), basic (Vogel, Auto) oder subordinate (Spatz, Volkswagen<sup>2</sup>).

Spontan gefragt, benennen wir die Objekte normalerweise mit ihrem basic-Stufen-Namen («Aha! «Ein Vogel / Auto / etc.») und nicht mit einem der beiden anderen Kategorie-Stufen-Namen. Dies wird als sog. basic-Stufen-Vorteil bezeichnet. Damit wird impliziert, dass auf gewisse kategoriale Informationen zeitlich früher zugegriffen werden kann als auf andere (z.B. Grill-Spector & Kanwisher, 2005; Jolicoeur, Gluck & Kosslyn, 1984; Potter & Hagmann, 2015; Rosch, Mervis, Gray, Johnson & Boyes-Braem, 1976). Verfügt man hingegen über Expertenwissen oder handelt es sich um ein bekanntes, jedoch atypisches Objekt, wie ein Truthahn (Jolicoeur et al., 1984; Tanaka & Taylor, 1991; Reijnen, Hoffmann & Zehetleitner, in Bearb.), kann man schneller auf die subordinate Stufe zugreifen.

Es gibt jedoch Autoren, die diesen Basic-Stufen-Vorteil in Frage stellen (z.B. Macé, Joubert, Nespoulous & Fabre-Thorpe, 2009). Sie gehen, basierend auf einem grob-zu-fein Ansatz (d.h. grobe Informationen sind für das Erkennen von globalen Merkmalen eines Bildes wichtig, resp. feine Informationen für das Erkennen von lokalen Merkmalen eines Bildes) davon aus, dass je spezifischer ein Objekt kategorisiert werden muss, desto feinkörniger sollten die zur Verfügung stehenden Informationen über das Objekt sein; woraus folgt, dass ein Objekt zuerst auf der superordinaten Stufe (da diese Informationen zuerst zur Verfügung stehen), dann auf der basic-level Stufe und zuletzt auf der subordinaten Stufe kategorisiert werden kann. Es ist daher bis heute ungeklärt, unter welchen Umständen der basic-Stufen-Vorteil auftritt, resp. wann nicht (Praž, Grimsen, König & Fahle, 2013).

Des Weiteren ist auch die 3-stufige Verarbeitung von Objekten nicht unbestritten. So zeigt beispielsweise eine Studie von Grill-Spector & Kanwisher (2005), dass die Segmentierung («middle vision»; s.o.) sowie Kategorisierung, zumindest bis hin zur basic-Stufe, zeitlich gesehen, nicht voneinander getrennt werden können.

Obschon noch mehr Fragen offen als gelöst sind, können wir im Grossen und Ganzen davon ausge-

---

<sup>[2]</sup> Teilweise wird zwischen den Begriffen Kategorisieren und Identifizieren unterschieden. Dabei beinhaltet Identifizieren das Kategorisieren von Objekten auf der subordinaten Stufe.

hen, dass beispielsweise ein Auto auf der „low vision“ Stufe zuerst in eine grosse Bandbreite von Formen (wichtigstes Merkmal in Bezug auf die Objekterkennung) wie Pneus, Fensterscheiben, Motorhaube, etc. zerlegt wird (gilt auch für andere Merkmale wie Farbe). Auf der Stufe der „middle vision“ führt dann beispielsweise das Gestaltgesetz der Nähe dazu, dass sich alle zu diesem Objekt gehörenden Einzelteile gruppieren. Auf der letzten Stufe („high vision“) kann dieses „Objekt“ als Auto oder auch als Fahrzeug oder Ferrari erkannt werden.

Wir sind bis hierhin davon ausgegangen, dass die Verarbeitung von Objekten durch den Stimulus (d.h. etwa das Objekt, das wir gerade betrachten) in Gang gesetzt wird (wird auch als bottom-up Verarbeitung bezeichnet). Die Wahrnehmung eines Objektes ist jedoch kein Einweg-Informationsfluss, sondern geschieht immer in Interaktion mit dem Kontext (sog. top-down Verarbeitung; Smith & Kosslyn, 2007), in welchen es eingebettet ist. Unter Kontext können beispielsweise unser Vorwissen (z. B. die Interpretation eines Objektes als Brotlaib und nicht als Backstein, basierend darauf, dass es in einer Brottrommel erschienen ist), aber auch unsere Überzeugungen, Ziele und Erwartungen subsummiert werden.

Der Kontext kann bzgl. jeder der 3 oben genannten Verarbeitungsstufen (low, middle, high vision) seine Wirkung entfalten. Erwähnt werden soll hier jedoch nur dessen Einfluss auf die höchste Stufe (high vision), die der Objekterkennung. So kann das Erkennen eines Objektes beispielsweise erleichtert werden, wenn es in einem erwarteten Kontext auftritt (ein Stopp-Schild, das an einer Kreuzung steht), resp. erschwert werden, wenn das Objekt in einem Kontext auftritt, der nicht mit früheren Erfahrungen übereinstimmt (wie ein Kind, das an dieser Stelle noch nie aufgetaucht ist; siehe auch Biederman, Mezzanotte & Rabinowitz, 1982; Henderson & Hollingworth, 1998).

Die Frage ist, wieso der Mensch überhaupt Kontextinformationen zur Objekterkennung benötigt. Die Informationen, die auf unseren Augenhintergrund (resp. Netzhaut) projiziert werden, sind oftmals « wertlos ». So liefert uns beispielsweise der im Schatten befindliche Teil eines Autos keine adäquaten Hinweise über dessen reale Farbe. Durch die Interpretation der Information auf unserer Netzhaut in Relation zum Kontext (z.B. mit Hilfe der Faustregel: « Gib den im Schatten liegenden Farben einen helleren Farbton. ») können wir das Rätsel lösen (braun wird zu gelb).

Entgegen unserer alltäglichen Erfahrung, dass die Objekte unserer Umwelt einfach und schnell auf eine kohärente Art und Weise erkannt werden können, geschieht Wahrnehmung nicht einfach. Objekte müssen aktiv verarbeitet werden (s. oben). Dieser Verarbeitungsprozess wird dabei von einer ganzen Reihe von Schwierigkeiten begleitet. Beispielsweise erzeugt eine Autotür, betrachtet aus verschiedenen Blickwinkeln, jeweils ein anderes Bild auf unserem Augenhintergrund. Wie weiss nun unser System, dass es sich jeweils um die gleiche Form und somit um ein- und dieselbe Autotür handelt? Respektive, wie weiss unser System, bei den gegenwärtig tausenden von möglichen Autoformen, dass es sich – trotz der immer anderen Form, die auf unseren Augenhintergrund abgebildet wird – immer um ein Auto handelt? Oder wie weiss es weiter, dass zwei Teile eines Gegenstandes, wie der hintere oder vordere Teil eines Autos, der in der Mitte durch einen Baum verdeckt wird, zusammengehören? Nebst den genannten Schwierigkeiten muss unser System noch viele andere lösen und wir sind weit davon entfernt, auf alles eine Lösung zu haben.

Die Komplexität der Materie zeigt sich auch darin, dass es bis heute unmöglich ist, Maschinen (wie beispielsweise ein Scanner am Flughafen, der ein Messer oder eine Waffe identifizieren kann) zu bauen, die Objekte erkennen können (ohne, dass man sie aufwendig dazu trainieren muss). So kann auch das elaborierteste Computerprogramm die Abdeckung einer Kameralinse oder den Deckel einer Teekanne nicht von einem Tennisball unterscheiden (Simonyan, Aytar, Vedaldi & Zisserman, 2012).

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass es bei der Wahrnehmung darum geht, Objekte einer gelernten Kategorie zuzuordnen. Die Frage, die sich jetzt stellt, ist, welche der obengenannten Verarbei-

tungsschritte Aufmerksamkeit erfordern, resp. welche nicht.

## 5.2. Aufmerksamkeit

Vorwegnehmend sei erwähnt, dass der Mensch nur einige der sich in seinem Gesichtsfeld befindlichen Objekte verarbeiten kann. Wobei dies hauptsächlich auf die Aufmerksamkeit als limitierenden Faktor zurückzuführen ist. Der anatomische Aufbau unseres visuellen Systems, wie beispielsweise der blinde Fleck (Austrittsstelle des Sehnervs), führt zu weiteren Limitierungen. Durch das Fehlen von Photorezeptoren beim blinden Fleck wird dem Gehirn für die Objekte der Umwelt, die auf diese Stelle des Augenhintergrundes projiziert werden (beispielsweise ein Teilausschnitt einer Strasse) keine stimulusbedingten, resp. bottom-up Informationen, zur Verfügung gestellt. Der Mensch nimmt hingegen diese Lücken nicht wahr, da unser Gehirn diese mittels top-down Informationen interpretativ füllt. Des Weiteren nimmt die Auflösung zur Peripherie hin durch die abnehmende Dichte von Zapfen (eine Art von Photorezeptoren, die für das Erkennen von Details verantwortlich sind) ab (s. Abbildung 11).



Abbildung 11: Links das Originalbild von einer Kamera aufgenommen. Rechts das Bild, wie es unser Augenhintergrund registriert, wenn mit dem rechten Auge das  $x$  fixiert wird (aus dem Textbuch: Mlodinow, 2012).

### 5.2.1. Definition

Was ist nun eigentlich Aufmerksamkeit? Um es in den berühmten Worten von William James (1890) zu fassen: «Everyone knows what attention is. It is taking possession of the mind, in clear and vivid form, of one out of several possible objects or trains of thought. [...] It implies withdrawal from some things in order to deal effectively with others» (S. 403).

William James spricht dabei zwei wesentliche Charakteristika der Aufmerksamkeit an. Erstens können die durch die Aufmerksamkeit ausgewählten Informationen, wie Objekte, einer tieferen und gründlicheren Verarbeitung unterzogen werden. Dadurch können sie unserem Bewusstsein zugänglich werden, was soviel heisst, dass wir sie berichten können, wie z.B. der Inhalt der Nachricht «Want to meet for coffee?» (Abbildung 10 sowie Abbildung 12, Pfad A).

Umgekehrt gilt daher, dass wir den Informationen gegenüber, die wir nicht beachten (d.h., nicht mit Aufmerksamkeit belegen), «blind» sind (d.h., sie können nicht berichtet werden; vgl. Unaufmerksamkeitsblindheit: man sieht «etwas» nicht, Veränderungsblindheit: man sieht die Veränderung nicht und Aufmerksamkeitsblinzeln: während ca. 300 ms besteht ein Aufmerksamkeitsdefizit; Cohen, Cavanagh, Chun & Nakayama, 2012, s. Abbildung 12, Pfad C). Nicht beachtete Informationen können nichtsdestotrotz jedoch, unser Verhalten auf vielfältige Art und Weise beeinflussen (s. Kapitel 4, mittels Pfad B und C in Abbildung 12).



Abbildung 12: Zusammenhang von Aufmerksamkeit und Bewusstsein (Abbildung adaptiert nach Cohen et al., 2012).

So hat sich in den letzten Jahren herauskristallisiert, dass Aufmerksamkeit eine notwendige, jedoch nicht hinreichende Bedingung ist, damit Informationen unser Bewusstsein erlangen können.

Zweitens, dient die Aufmerksamkeit gemäss James (1890) der Selektion von Informationen. Aufgrund von sog. Engpässen in unserem visuellen informationsverarbeitenden System können wir nur wenige Informationen (hier: Objekte, Ereignisse etc.) weiterverarbeiten, was bedeutet, dass wir viele andere ignorieren müssen (entweder durch aktive Unterdrückung irrelevanter Informationen oder durch Selektion potentiell relevanter Informationen; Evans et al., 2011). Gegenstand der weiteren Verarbeitung ist die durch Aufmerksamkeit selektionierte Information, wobei der selektive Aspekt daher rührt, dass die Aufmerksamkeit von ihrer Ressource her begrenzt ist. Die zur Verfügung stehenden Ressourcen können jedoch flexibel eingesetzt werden. So können wir uns beispielsweise auf eine einzige Aufgabe, wie das Fahren, konzentrieren oder zwischen mehreren Aufgaben, wie dem Spurhalten und einen Blick auf das Navigationsgerät werfen, hin- und herwechseln. Nicht zuletzt können wir versuchen, zwei Aufgaben gleichzeitig durchzuführen, wie Autofahren und Telefonieren (mehr dazu in späteren Kapiteln).

Welche Schritte der Wahrnehmung erfordern nun Aufmerksamkeit? Nachfolgend soll diese Frage beantwortet werden.

### 5.2.2. Was braucht Aufmerksamkeit?: Merkmale vs. Objekte

Der Wahrnehmungsprozess startet, wie oben beschrieben, vereinfacht gesagt, mit der Analyse der in der Szene enthaltenen Merkmale (z.B. Farbe, Orientierung, etc.) und endet mit der Identifikation der darin enthaltenen Objekte (z.B. Auto). Die Frage ist, für welchen dieser Schritte wird Aufmerksamkeit benötigt?

Im Labor wird dieser Frage beispielsweise mit Hilfe des Visuelle-Suche-Paradigmas nachgegangen. In diesem Paradigma müssen die Versuchspersonen (Vpn) so schnell und so korrekt wie möglich entscheiden, ob ein bestimmtes Zielobjekt (z.B. ein Stopp-Schild) in einer Szene (z.B. Strassenkreuzung) bestehend aus einer variablen Anzahl von Distraktoren wie Autos, Fussgänger, Verkehrslichter, etc. (bilden zusammen die sog. «Grösse der Anordnung») vorhanden ist oder nicht. Die Visuelle Suche bildet somit nicht nur unser alltägliches Verhalten ab, sondern ist auch eine wichtige Komponente vieler hochspezialisierter Tätigkeiten (z.B. Mammographie oder Gepäckscanner am Flughafen). Dabei wird beispielsweise die Zeit gemessen, die die Vpn zum Antworten benötigen (sog. Reaktionszeit

oder RT). Die RT x Grösse der Anordnungs-Funktion gibt anschliessend Auskunft darüber, wie viel Aufmerksamkeit eine bestimmte Suche benötigt. Eine Vielzahl von Laborexperimenten zeigt, dass wenn sich das Zielobjekt (z.B. roter Kreis) in einem einzigen Merkmal wie Farbe, Orientierung, etc. (siehe auch Reijnen, Wolfe & Krummenacher, 2013, für Anzahl) von den Distraktoren (z.B. grünen Kreisen) unterscheidet, man flache RT x Grösse der Anordnungs-Funktionen (ca. 0 ms / Objekt) findet. Dies weist auf eine «effiziente» Suche hin (d.h., die Suche nach Zielobjekten erfordert keine Aufmerksamkeit); das heisst, alle Objekte im visuellen Feld (hier: Computerbildschirm) können gleichzeitig verarbeitet werden. Auf der anderen Seite führt eine Suche nach einem Objekt, das sich nur durch eine einzigartige Kombination von zwei oder mehr Merkmalen von den Distraktoren unterscheidet (z. B. ein roter Kreis unter roten Vierecken und grünen Kreisen), zu einer steilen Steigung (> 20 ms / Objekt); das bedeutet, dass die im visuellen Feld anwesenden Objekte nur eines nach dem anderen und zwar mit Hilfe der Aufmerksamkeit verarbeitet werden können.

Basierend auf diesen Befunden formulierte Anne Treisman ihre häufig zitierte Merkmals-Integrations-Theorie (Treisman & Gelade, 1980). Gemäss ihrer Theorie werden zuerst die einzelnen Merkmale der im visuellen Feld anwesenden Objekte wie „rot“ und „rund“ gleichzeitig über das gesamte visuelle Feld analysiert. Anschliessend werden diese mit Hilfe der Aufmerksamkeit auf eine kohärente Art und Weise, das heisst richtig zusammengesetzt; beispielsweise die Farbe Gelb mit der gekrümmten Form der Banane und die Farbe Rot mit der rechteckigen Form des Feuerlöschers. Da die Aufmerksamkeit wie erwähnt in ihrer Kapazität begrenzt ist, kann diese nur die Merkmale einiger weniger Objekte gleichzeitig zusammensetzen. Woraus die oben erwähnte steile Steigung resultiert, wenn mehr Objekte abgesucht werden müssen. Stimmt ihre Theorie, müsste als Umkehrschluss der Mensch Merkmale falsch verknüpfen, beispielsweise das Gelb der Banane mit der rechteckigen Form des Feuerlöschers, wenn die Aufmerksamkeit nicht auf dem Objekt ist. Treisman & Schmidt (1982) konnten in ihren Experimenten bei ihren Vpn tatsächlich solche „illusorische Verknüpfungen“ feststellen. Was geschieht nun, wenn die Aufmerksamkeit wieder von einem Objekt genommen wird? Entgegen der menschlichen Intuition zerfallen die Objekte wieder in einen losen Verbund von an diesem Ort anwesenden Merkmalen. Das heisst, haben sich der Feuerlöscher und die Banane an einem Ort befunden, weiss unser System jetzt nur, dass sich dort etwas Gelbes, Rotes, Gekrümmtes und Eckiges befindet. Warum fällt uns das nicht auf? Es kümmert uns Menschen wenig. Wir haben gelernt, dass sich Objekte, auch wenn wir sie nicht mehr beachten, in der Regel so fortbestehen, wie wir sie zuvor wahrgenommen haben. Dies erspart uns viel an Energie.

Die Eindeutigkeit der Stufenabfolge der Verarbeitung von Objekten ist aber noch Gegenstand einer wissenschaftlichen Debatte. Uneinigkeit herrscht zudem auch darüber, welche Stufe der Objektkategorisierung (superordinate, basic oder subordinate) Aufmerksamkeit benötigt. So gehen beispielsweise Evans & Treisman (2005) davon aus, dass individuelle, hervorstechende Merkmale wie Feder, Schnabel, die superordinate Kategorie Tier aktivieren könnten, bevor die Merkmale mittels Aufmerksamkeit gebunden werden müssen und eine Identifikation auf der basic-Stufe erreicht werden kann. Potter & Hagmann, 2015, vertreten dem gegenüber jedoch auch gegenteilige Ansichten.

### **5.2.3. Begrenzung der Aufmerksamkeit: Raum vs. Zeit**

Tätigkeiten wie Autofahren erfordern ein Überwachen von Ereignissen, die sich in einer schnellen zeitlichen Abfolge präsentieren, was ein konstantes Aufrechterhalten unseres Aufmerksamkeitsfokus bedingen würde. Studien, welche das sog. RSVP (rapid serial visual presentation) Paradigma verwenden, belegen jedoch, dass unsere Aufmerksamkeit nicht nur räumlich (d.h. durch den Aufmerksamkeitsfokus belegten Raum, resp. die wenigen Objekte, die sich darin befinden), sondern auch zeitlich begrenzt ist. Beim RSVP Paradigma werden den Vpn eine bestimmte Anzahl von Bildern in ei-

ner schnellen Abfolge präsentiert (ca. 10 Bilder pro Sekunde; s. Abbildung 13). Die Aufgabe der Vpn besteht nun darin, zwei Zielobjekte (Z1 und Z2) wie z.B. Verkehrsschilder, in einem Strom von anderen Objekten, den sog. Distraktoren (z. B. Gebäude), zu erkennen und am Schluss zu berichten.

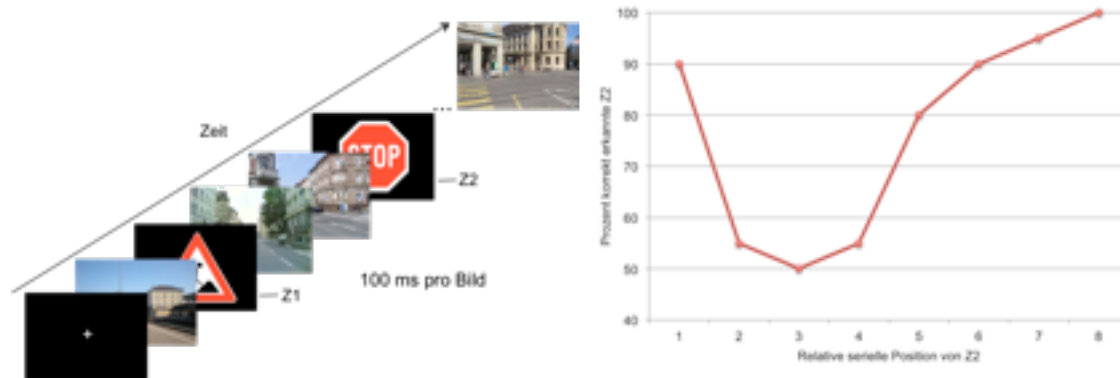


Abbildung 13: links: Eine Abfolge von Stimuli in einem RSVP-Paradigma. rechts: Prototypisches Ergebnis der Erkennungsrate von Z2 in Prozenten, wenn Z1 richtig erkannt wurde.

Typische Befunde zeigen, dass die Erkennungsrate für das zweite Zielobjekt (Z2), wenn das erste Zielobjekt Z1 richtig erkannt wurde, davon abhängt, wie viel Zeit zwischen den zwei Zielobjekten Z1 und Z2 liegt. Liegen zwischen Z1 und Z2 ca. 200 bis 500 ms, kann das zweite Zielobjekt schlecht bis gar nicht erkannt (hier: das zweite Verkehrsschild) werden. Wird Z2 hingegen direkt nach dem ersten Zielobjekt Z1 oder später wie 500 ms nach diesem präsentiert, ist die Erkennungsrate beinahe perfekt (Shapiro, 1994).

Das heisst, es scheint ein kritisches Zeitfenster zu geben, in dem der Mensch nicht in der Lage ist, ein zweites Objekt zu erkennen, nachdem er zuvor ein erstes Zielobjekt erkannt hat. Müssen beispielsweise zuerst fahrrelevante Informationen (z.B. Richtungsangaben) auf einem HMD verarbeitet werden, können in einem bestimmten Zeitfenster an der Stelle keine weiteren solche Informationen verarbeitet werden.

Eine andere Forschungslinie hat jedoch gezeigt, dass sofern unmittelbar nach dem ersten Zielobjekt Z1 bis zum Ende des kritischen Zeitfensters (d.h. bis ca. 500 ms) nur noch Zielobjekte statt Distraktoren präsentiert werden, das Zeitfenster der Aufmerksamkeit offen bleibt und Objekte sogar bevorzugt verarbeitet werden können. Dies wird unter dem Phänomen des „Aufmerksamkeitsboosts“ zusammengefasst (z.B. Di Lollo et al., 2005; Olivers, 2007; Olivers, Van, S. & Hulleman, 2007; Reeves & Sperling, 1986). Wenn man also verschiedene Informationen in einem PHMD zeitlich sequenziell darstellt, sollten diese innerhalb des kritischen Zeitfensters präsentiert werden; darüber hinaus sollten keine weiteren ablenkenden Reize im Sinne von Distraktoren vorhanden sein. Inwieweit dies jedoch einem realistischen Szenario entspricht, ist fraglich. Daher wäre von einer sequenziellen Darstellung von relevanten Informationen innerhalb eines PHMD im Fahrzeug innerhalb des kritischen Zeitfensters abzuraten sein, denn im Strassenverkehr entspricht es eher der Realität, dass der Autolenker nicht konstant mit Zielobjekten, sondern mit dazwischenliegenden Distraktoren konfrontiert wird.

#### 5.2.4. Aufmerksamkeitslenkung

Da es sich bei der Aufmerksamkeit um eine begrenzte Ressource handelt, die nur bedingt durch Training erweiterbar ist (s. Kapitel 5.2.5.6), ist es umso wichtiger zu wissen, wie wir diese Ressource gezielt einsetzen können, um beispielsweise unseren Blick auf die im Verkehr relevanten Aspekte rich-

ten zu können, wie das am Fussgängerstreifen wartende Kind im roten Mantel oder den in der Nacht rennenden Jogger mit reflektierenden Kleidern.

Wie lässt sich nun unsere Aufmerksamkeit lenken? Über die vergangenen Jahrzehnte hinweg hat man mit Hilfe von verschiedenen Paradigmen (z.B. Visuelle Suche, Attentional Capture) zeigen können, dass sich unsere Aufmerksamkeit durch sog. bottom-up Prozesse lenken lässt (d.h. durch den Stimulus selbst). So ziehen Objekte, die sich durch ein einzigartiges Merkmal wie Farbe, Form, Grösse, etc. auszeichnen (für einen Überblick über aufmerksamkeitslenkende Merkmale s. Wolfe & Horowitz, 2004), die Aufmerksamkeit – sofern der Kontrast zwischen dem Objekt und den sie umgebenden Objekten gross genug ist – automatisch auf sich.

Wickens & McCarley (2008) konnten beispielsweise zeigen, dass das Symbol einer PDF-Datei unter den Symbolen von Word-Dateien, dargestellt auf einem Computermonitor ähnlich einfach zu entdecken war wie ein roter Punkt unter grünen Punkten. Ein roter Punkt unter hellroten Punkten zieht jedoch, aufgrund des geringen Unterschiedes im Kontrast, keine Aufmerksamkeit an. Des Weiteren ziehen plötzlich auftauchende Objekte (sog. Onsets), grösser werdende Objekte sowie Objekte, die hinter einem Objekt hervorkommen oder verschwinden, Aufmerksamkeit an (Franconeri & Simons, 2003). Das heisst, beispielsweise ein plötzlich auf der Strasse auftauchendes Kind (Onset), aber auch Informationen in HMD, die nach den genannten Kriterien präsentiert werden, können die Aufmerksamkeit automatisch auf sich lenken. Die Befunde über kleiner werdende Objekte sind kontrovers (z.B. Abrams & Christ, 2005).

Die Situationen, unter denen Merkmale wirken, resp. nicht, sind jedoch sehr fragil. So zeigte sich, dass ein Objekt (hier ein grüner Onset), das normalerweise aus einem statischen Display herausschicht, dies nicht mehr kann, wenn sich gleichzeitig andere anwesende Objekte dynamisch verändern (Nikolic, Orr & Sarter, 2004; Simons, 2000).

So werden beispielsweise aufblinkende Lichter im Cockpit unter der Voraussetzung zahlreicher weiterer dynamischer Elemente von Piloten nicht gesehen: Während sich zugleich verschiedene Zeiger (z.B. des Höhenmessers) auf einem Ziffernblatt bewegten, wurden Onsets aufgrund von Warnmeldungen nicht erkannt (Nikolic et al., 2004; Wickens & McCarley, 2008).

Des Weiteren hat sich in realistischeren Situationen wie beispielsweise auf Fotos gezeigt, dass Text (wie auf Schildern oder Plakaten verwendet), aber auch Gesichter, Menschen oder Tiere die Aufmerksamkeit sofort anziehen (Cerf, Frady & Koch, 2009; Fletcher-Watson, Findlay, Leekam & Benson, 2008; Kirchner & Thorpe, 2006; Yarbush, 1967).

Wenn man auch in den letzten Jahren immer wieder einmal ein Merkmal entdeckt, das die Aufmerksamkeit automatisch zu lenken vermag (Reijnen et al., 2013), gibt es zahlreiche Merkmale, die vermutlich keine Fähigkeit besitzen, die Aufmerksamkeit beim Vorhandensein zahlreicher Distraktoren automatisch auf sich zu ziehen: die Identifikation von einem Farbwechsel (d.h., wenn ein Gegenstand seine Farbe von rot auf grün wechselt) oder die eines „unheimlichen“ Gesichts unter vielen neutralen Gesichtern (Wolfe & Horowitz, 2004). Diesen Effekt kennt man auch aus Kinderbüchern "Wo ist Walter?".

Nebst der Aufmerksamkeitslenkung durch bottom-up Prozesse, gibt es top-down Prozesse, also das Wissen, das man über ein bestimmtes Objekt hat. So grenzt sich die Suche nach einem speziellen Fahrzeug (etwa einem Ferrari) basierend auf dem Wissen über dessen definierende Merkmale, beispielsweise dessen spezifischer Farbe und Grösse auf jene Bereiche einer Szene ein (Parkplatz- oder Stadtszene), die diesen Kriterien genügen. Die Suche wird dadurch wesentlich effizienter, das heisst, die Suche begrenzt sich auf einige wenige Objekte.

Ein Beispiel für einen erfolgreichen Praxistransfer zeigt die Studie von Palmer, Clausner & Kellman

(2008). Simple Modifikationen der Darstellung von Flugzeugen in Displays (unterschiedliche Farben und Grössen je nach ihrer Flughöhe) von Fluglotsen führten dazu, dass potentiell gefährliche Situationen (Kollisionsrisiken) besser und schneller entdeckt werden konnten.

Es ist jedoch unklar, ob die top-down Lenkung gleichzeitig mit der bottom-up Lenkung abläuft oder dieser zeitlich nachgeschaltet ist. Ein Paradigma zur Untersuchung der Interaktion zwischen diesen beiden Mechanismen, bottom-up und top-down, ist das Attentional-Capture-Paradigma. In diesem müssen die Vpn nach einem bestimmten Zielobjekt (z.B. schwarzer Kreis) unter Distraktoren, wie schwarzen Rauten suchen (resp. entscheiden, ob ein im Kreis enthaltener Strich nach links oder rechts geneigt ist). Entscheidend ist jedoch, dass ab und zu einer der vorhandenen Distraktoren durch einen neuen Distraktor ersetzt wird, der auffällt, resp. heraussticht (z.B. eine schwarze Raute wird durch eine rote ersetzt). Das führt normalerweise dazu, dass sich die Entscheidung bezüglich Neigung der Linie verzögert. Je nach Umständen vermag nun die top-down Kontrolle (etwa aufgrund der Instruktion des Versuchsleiters, die rote Raute nicht zu beachten) den negativen Einfluss des Distraktors zu neutralisieren. Die genauen Umstände, die diesen Effekt begünstigen – bzw. ihn in manchen Fällen nicht eintreten lassen –, sind hingegen noch nicht ausreichend erforscht.

In den letzten Jahren kristallisierte sich noch eine andere Form von top-down Prozessen heraus, die unsere Aufmerksamkeit zu lenken vermögen, nämlich szenenbasierte Prozesse (Neider & Zelinsky, 2005; Peelen & Kastner, 2014). Es ist jedoch noch weitgehend unklar, wie sich diese sog. semantischen Informationen einer Szene definieren:

- Ist es die „scene gist“, d. h. die Bedeutung (oder grobe Kategorie) einer Szene – in Abhängigkeit von verschiedenen Studien etwa ein Strand, Parkplatz oder eine Küche,
- die Szene-Objekt-Beziehung,
- die semantische Ähnlichkeit zwischen den in einer Szene anwesenden Objekten (z.B. Wu, Wick & Pomplun, 2014)?

Es ist jedoch mittlerweile bekannt, dass wir unsere Suche (resp. Augenbewegungen) nach einem Fussgänger auf Orte innerhalb einer Szene (beispielsweise Trottoirs) eingrenzen können, was die Suche effizienter macht.

Die relative Wichtigkeit der Prozesse hängt von der jeweiligen Situation ab. So sind top-down und szenenbasierte Prozesse gerade in realistischeren Settings von Bedeutung, die sich durch eine Heterogenität der Merkmale wie Farbe, Orientierung, etc. auszeichnen (siehe auch Simons, 2000), wie beispielsweise bei einem Aufenthalt am Time Square in New York, woviele Informationen in unterschiedlichen Farben und Grösse vorzufinden sind; bottom-up Informationen sind hier nicht nutzbar.

Zusammenfassend gilt, je effektiver die Aufmerksamkeitslenkung ist, desto weniger Ressourcen müssen für das Absuchen irrelevanter Informationen verwendet werden und sie stehen somit wieder schneller für andere Aufgaben zur Verfügung. Mit Blick auf die Gestaltung eines PHMD hiesse dies, dass die dargestellten Inhalte möglichst schnell verarbeitet werden können müssen, was unter anderem eine geringe Komplexität erfordert.

Die Debatte darüber, welche Prozesse die Aufmerksamkeit lenken können, resp. deren relative Wichtigkeit, ist jedoch bei Weitem noch nicht abgeschlossen.

Was sind nun die Konsequenzen einer ineffizienten Aufmerksamkeitslenkung? Oder anders formuliert, was sind die Kosten, die anfallen, wenn Menschen die eigene Aufmerksamkeit von beispielsweise dem Navigationsgerät – weil dieses die Aufmerksamkeit durch einen Onset angezogen hat – wieder zurück auf die Strasse bringen müssen? Dies lässt sich mit Hilfe des Cueing-Paradigmas von Posner (1980) verdeutlichen. In diesem müssen die Vpn ihre Aufmerksamkeit zuerst auf ein in der Mitte des Bildschirms erscheinenden Fixationskreuzes richten; wobei sich links und rechts (einige we-



nige Winkelgrade) von diesem jeweils ein Kästchen befindet. Nach dem Verschwinden des Fixationskreuzes wird den Vpn beispielsweise anstelle des Fixationskreuzes ein Pfeil (Hinweisreiz) präsentiert, der ihnen mit einer Wahrscheinlichkeit von ca. 80 % anzeigt, ob das zugleich erscheinende Zielobjekt (z.B. ein kurzer Lichtblitz) im linken oder rechten Kästchen erscheinen wird. Dabei zeigte sich (in Bezug zu einer neutralen Bedingung, in welcher kein Hinweisreiz gezeigt wurde), dass wenn der Pfeil in die Richtung zeigte, in welcher das Zielobjekt tatsächlich erschien (valide Bedingung) ein Zeitgewinn resultierte, wohingegen Zeitkosten entstanden, wenn der Pfeil in die falsche Richtung zeigte (invalide Durchgänge). Rechnet man diese Gewinne und Kosten, die nur schon bezüglich der wenigen bei Posner (1980) verwendeten Winkelgrade entstanden sind, auf Reaktionszeiten in einer realistischen Situation, wie das Autofahren, um, könnte sich folgendes Bild ergeben: Bei einer Fahrgeschwindigkeit von 50 km/h, wie es in Ortschaften oftmals der Fall ist, sowie trockenen Strassenverhältnissen und einer Reaktionszeit von 1,5 Sek. geht man von einem Bremsweg von 33 Metern aus. Benötigt der Autofahrer nun bei den gleichen Verhältnissen doppelt so lange, um zu reagieren (3 Sek.) – weil die Aufmerksamkeit beispielsweise gerade auf die Nachricht „Want to meet for coffee?“ des HMD (s. Abbildung 10) gerichtet ist – verlängert sich der Bremsweg um knapp 20 Meter auf 52 Meter. Dabei wurde zugrunde gelegt, dass für das Zurücklegen des Weges durch die Aufmerksamkeit (i.d.R. identisch mit den Augenbewegungen) von der Nachricht zur Strasse ca. 1,5 Sek. benötigt werden.

Weitere Fragen, die in diesem Gebiet offen sind, betreffen die Einheiten («Units»), welche die Aufmerksamkeit selektioniert. Ursprüngliche Metaphern verglichen die Aufmerksamkeit zunächst mit einem Scheinwerfer (spotlight), der einen Lichtkegel mit einer festen Grösse besitzt; später mit einer Blende (zoom lense) eines Fotoapparats, welche auf eine variable Grösse einstellbar ist. Beide Metaphern gingen jedoch davon aus, dass die Aufmerksamkeit alles, was sich an einem bestimmten Ort befindet selektioniert (ortsbasiert). In den letzten Jahren zeigte sich jedoch, dass die Aufmerksamkeit auch Merkmale (merkmalsbasiert) oder Objekte (objektbasiert) auswählen kann.

### **5.2.5. Geteilte Aufmerksamkeit**

Bis jetzt wurden Situationen geschildert, in denen unsere gesamte Aufmerksamkeit auf eine Aufgabe gerichtet war. Unser Alltag ist jedoch eher von Situationen geprägt, in denen wir mehrere Aufgaben gleichzeitig vollführen müssen, wie während dem Gespräch mit einer anderen Person noch auf dem Handy zu chatten oder während des Autofahrens noch auf das Navigationssystem zu achten.

Das führt zur Frage, wie viele Aufgaben wir gleichzeitig ohne einen Leistungsabfall im Erfüllen der Aufgaben durchführen können. Ein wegweisendes Zitat von James (1890) lautet: „If you ask how many ideas or things we can attend to at once, the answer is not very easily more than one, unless the processes are very habitual.“ (S. 409). Der Autor weist somit darauf hin, dass nur eine Aufgabe zugleich erfüllt werden kann – es sei denn, die Ausführung dieser Aufgabe ist automatisiert. Dies stellt single-channel Ansätze denen gegenüber, die die automatisierte Ausführung von Aufgaben untersucht haben. Single-channel Ansätze (z.B. Welford, 1952; Welford, 1967; dieser wird auch als serielles Modell bezeichnet) gehen von einem strukturbedingten Engpass (bottleneck) aus, aufgrund dessen man sich gleichzeitig nur einer einzelnen Aufgabe widmen kann.

Ein solcher Engpass bedingt, dass Aufgaben bzgl. deren Erledigung in eine Warteschlange treten müssen (basierend darauf wurde Broadbents Filtermodell der Aufmerksamkeit entwickelt; Broadbent, 1958). Erst nachdem eine Aufgabe erledigt ist, kann eine andere in Angriff genommen werden. Auch wenn man heute von dieser strikten Variante ein wenig Abstand genommen hat, gibt es in der Realität immer wieder Situationen, in denen nur eine Aufgabe pro Zeiteinheit erledigt werden kann.

Beispielsweise dann, wenn zwei visuell präsentierte Informationen, die beide eine aufmerksamkeits-

bedingte Verarbeitung benötigen, räumlich zu weit voneinander entfernt liegen (wie Geschehnisse auf der Strasse und Angaben auf dem Navigationsgerät). Das gleiche gilt für zwei Aufgaben, die schnelles, nacheinander Verarbeiten von Informationen erfordern, wie das Reagieren auf eine Gefahr auf der Strasse während der Mitfahrer gleichzeitig eine Frage stellt, auf die man unmittelbar nach der Bewältigung der Gefahr antworten müsste.

Wie jedoch auch aus dem Zitat von James (1890) ersichtlich ist, lassen sich mehrere Aufgaben gleichzeitig ausführen, sofern diese einfach sind oder automatisiert wurden. Die Automatisierung erreicht man durch extensives Üben. Dies zeigt sich eindrücklich in der Studie von Shiffrin & Schneider (1977). Ihre Vpn mussten sich beispielsweise einerseits zwei Ziffern (z.B. „3 und 5“) merken, andererseits so schnell und korrekt wie möglich entscheiden, ob in einer schnellen sequentiellen Abfolge von 20 Anordnungen mit jeweils vier Buchstaben, eine der Anordnungen eine der zu memorierenden Ziffern enthielt (d.h. ein Buchstabe wurde durch die Ziffer 3 oder 5 ersetzt). Dabei zeigte sich, dass die Vpn erst nach einer hohen Zahl von etwa 600 Durchgängen in der Lage waren, die Aufgabe fast perfekt zu lösen. Durch Übung wurde die Aufgabe automatisiert (d.h. sie erfordert nun keine Aufmerksamkeit mehr).

Im Alltag finden sich viele solche durch Übung automatisierten Aufgaben. So finden sich häufige Beispiele von Personen, die, nachdem sie ihre Wohnung verlassen haben, sich regelmässig fragen, ob sie die Haustüre abgeschlossen haben; bei der anschliessenden Kontrolle stellen sie in der Regel fest, dass sie abgeschlossen war. Das Schliessen der Haustüre hat sich – durch vielfaches Wiederholen – automatisiert. Das Wissen über die Handlung des Türschliessens wird jedoch durch die Automatisierung nicht mehr bewusst.

Der Nachteil von sog. automatisierten Aufgaben oder Prozessen ist jedoch, dass nun wiederum enorme kognitive Ressourcen aufgewendet werden müssen, um diese an ihrem „automatischen Ablaufen“ zu hindern. Dies lässt sich eindrücklich anhand der sog. Stroop-Aufgabe verdeutlichen, in welcher die Vpn so schnell wie möglich die Schriftfarbe einer Reihe von Farbwörtern benennen müssen (Stroop, 1935). Dabei reagieren die Vpn schneller, wenn die Farbe der Schrift (z.B. blau) und das Farbwort selber (z.B. Wort „Blau“) übereinstimmen (kongruente Bedingung) als wenn, die Farbe der Schrift (z.B. grün) und das Farbwort selber (z.B. Wort „Blau“) nicht übereinstimmen (inkongruente Bedingung). Aus der Differenz der Reaktionszeiten ergibt sich der sog. Stroop-Effekt. Dieser wird dadurch erklärt, dass sich das Lesen von Farbwörtern ab einem bestimmten Alter automatisiert hat (Stroop, 1935; Anderson, 2013).

So kann beispielsweise das Lesen von Texten auf einem vorbeifahrenden Lastwagen (einprägsame Schriftzüge, wie einer vom bekannten "Coca-Cola"-LKW) oder eine erscheinende Notifikation für ein neues Email auf dem Computer wegen der kognitiven Automatisierung nur mittels kognitiver Anstrengung – wenn überhaupt – unterdrückt werden.

Hingegen zeigen Experimente auch immer wieder, dass sich gerade bei schwierigen Aufgaben, die zugrundeliegenden Prozesse trotz wiederholtem Üben nicht automatisieren lassen. Dies beobachtet man beispielsweise, wenn in einem Experiment ähnlich dem oben beschriebenen von Shiffrin & Schneider (1977) in einem Durchgang der Stimulus das Zielobjekt ist, in einem anderen jedoch ein Distraktor (Schneider & Chein, 2003). Übersetzt auf die Situation eines Car-Sharing-Kunden würde dies bedeuten, dass er – nur unter Zugrundelegung kognitiver Anstrengung – in jedem Fahrzeug erneut zeitraubend nach dem Rückwärtsgang zu suchen hätte.

Sogenannte Doppelaufgaben (Dual-Tasks), in denen die Vpn zwei verschiedene Aufgaben (Primär- und Sekundäraufgaben genannt) gleichzeitig durchführen müssen, können Hinweise geben, wie stark sich beispielsweise zwei Aufgaben gegenseitig beeinträchtigen. Dabei wird verglichen, wie gut die Pri-

märaufgabe alleine oder zusammen mit der Sekundäraufgabe gelöst wird.

Erfordert die Sekundäraufgabe keine oder nur wenig Ressourcen, sollte die Primäraufgabe genauso fehlerfrei gelöst werden, wie wenn sie alleine durchgeführt wird. Das heisst, mittels Doppelaufgaben kann eruiert werden, welche Sekundäraufgaben ohne Aufmerksamkeit (automatisch) gelöst werden können.

Betrachten wir beispielsweise die Studie von Li, VanRullen, Koch & Perona (2002). In der Primäraufgabe mussten die Vpn entscheiden, ob die in der Mitte des Bildschirms präsentierten Anordnungen fünf identische Buchstaben enthielten (alles T's oder alles L's) oder ob einer der Buchstaben von den anderen abwich (z. B. ein T unter L's oder umgekehrt). In der Sekundäraufgabe (in der Peripherie präsentiert) mussten die Vpn entscheiden, ob im präsentierten Bild ein Tier oder Fahrzeug vorhanden war oder nicht.

Dabei zeigte sich, dass das Lösen der Sekundäraufgabe keinen negativen Einfluss auf die Leistung der Primäraufgabe hatte (d.h. die Primäraufgabe konnte alleine oder zusammen mit der Sekundäraufgabe gleich gut gelöst werden). Dies entspricht auch den zuvor erwähnten Befunden von Evans & Treisman (2005), die zeigten, dass Objekte auf der superordinaten Stufe ohne Aufmerksamkeit verarbeitet werden können. Mussten die Vpn hingegen in einer anderen Sekundäraufgabe entscheiden, ob der in der Peripherie präsentierte Kreis auf der rechten Seite rot und auf der linken Seite grün war, brach die Leistung in der Primäraufgabe zusammen. Das heisst, komplexe Objekte benötigen zu deren Verarbeitung Aufmerksamkeit; dies wiederum zeigt – wie vorhin erwähnt –, dass das korrekte Verknüpfen von Merkmalen Aufmerksamkeit erfordert.

### **5.2.6. Trainieren der Aufmerksamkeit**

Es stellt sich in Bezug auf die Aufmerksamkeit immer wieder die Frage, ob man diese trainieren kann, um die zur Verfügung stehenden Ressourcen zu vergrössern. Dieser Frage gingen beispielsweise Green & Bavelier (2006) in ihrer Studie nach. Ihre Vpn mussten vor und nach dem Training (das entsprach dem Vor- und Nachtest) eine sog. Multiple-Objekt-Tracking (MOT)-Aufgabe durchführen. In der MOT-Aufgabe sehen die Vpn beispielsweise 16 Kreise, wovon 1 bis zu 7 der Kreise für eine kurze Zeit durch eine andere Farbe markiert wurden. Nachdem die Markierung verschwunden war, fingen die Kreise an, sich in einem zufälligen Muster zu bewegen. Die Aufgabe der Vpn war es, diese zuvor markierten Kreise für eine gewisse Zeit zu verfolgen. Nachdem alle Punkte zu einem Stopp kamen, veränderte eines der 16 Objekte wiederum die Farbe und die Vpn mussten entscheiden, ob dies einer der Punkte war, die sie verfolgen mussten.

Zwischen dem Vor- und Nachtest spielte eine Gruppe von Vpn über 10 Tage hinweg, jeweils für eine Stunde am Tag, ein so genanntes first-person-Shooter Computerspiel („Medal of Honor: Allied Assault“), eine andere Gruppe hingegen "Tetris". Dabei zeigte sich in beiden Gruppen, dass je mehr Objekte die Vpn verfolgen mussten, desto schlechter wurde ihre Leistung in der MOT-Aufgabe. Generell zeigt sich bei MOT-Aufgaben, dass die Vpn etwa drei bis vier Objekte verfolgen können. Diese Erkenntnis ist bei der Gestaltung von realen Situationen wie Arbeitsplatzumgebung oder Armaturenbrettern zu berücksichtigen.

Für die Forscher unerwartet zeigte sich in der Studie von Green & Bavelier (2006), dass die Gruppe mit dem first-person-Shooter-Spiel im Gegensatz zur "Tetris" -Gruppe ihre Leistung im Nachtest gegenüber dem Vortest steigern konnte. Es bleibt jedoch noch weitgehend offen, worauf diese Verbesserungen zurückzuführen sind. Dies legt nahe, dass offenbar nur im first-person-Shooter-Spiel Aufmerksamkeitsaspekte erfasst worden sind, die auch das Multiple-Object-Training verbessern können. Unklar bleibt, ob die Kapazität der Aufmerksamkeit erhöht wurde oder die vorhandene Kapazität effizi-

enter genützt wurde.

### 5.3. Priming

Nichtsdestotrotz kann ein Objekt (z.B. ein Strassenschild, das vor Wildwechsel warnt), das zwar *beachtet* jedoch nicht soweit verarbeitet worden ist, dass es unser Bewusstsein erreicht hat und somit berichtbar wurde (s. Abbildung 12, Pfad B), eine Wirkung entfalten, beispielsweise, indem es die Verarbeitung eines zeitlich später erscheinenden Stimulus wie ein Objekt erleichtert (z.B. einem Wildschwein, das auf die Strasse zu laufen droht). Diese erleichterte Verarbeitung wird durch die semantische Beziehung zwischen dem Strassenschild (der sog. Prime) und dem Wildschwein erreicht. Dieses Phänomen nennt sich Priming.

In gleicher Weise können jedoch auch Objekte, die *nicht beachtet* werden, einen Priming-Reiz darstellen, sofern sie beispielsweise eine semantische Beziehung zum später erscheinenden Stimulus aufweisen. In diesem Sinne würde selbst der in der visuellen Peripherie dargebotene Hinweis vor Wildwechsel auf einem Navigationsgerät, das man eigentlich gar nicht beachtet hatte, einen solchen Priming-Reiz darstellen (s. Abbildung 12, Pfad C). Man geht jedoch davon aus, dass Priming-Effekte sofern der Prime *beachtet* wurde stärker ausfallen.

Die Wirkweise von Primes über Pfad B (unbewusst, s. Abbildung 12) wird untersucht, indem diese kurzfristig (d.h. wenige hundertstel Sekunden) dargeboten werden. Unter dieser Bedingung können die Vpn, auch wenn sie den Prime beachtet haben, nicht zuverlässig berichten, was es war. Des Weiteren werden Primes oftmals noch maskiert, d.h. es wird vor, bzw. nach dem Prime noch eine so genannte Maske (z.B. visuelles Rauschen) präsentiert.

Die Wirkung von Primes wurde u.a. von Bar & Biederman (1998) untersucht. In ihrer Studie konnten die Vpn kurzfristig (47 ms) dargebotene Objekte nur zu 13,5 % richtig benennen. Wurden den Vpn die selben Bilder ca. 15 Minuten später noch einmal dargeboten (die erste Präsentation der Objekte im Sinne von Primes sollte dazu führen, dass die selben Objekte bei der zweiten Präsentation besser erkannt werden können), stieg die Erkennungsrate auf 34,5 % an. Dabei wurde die Leistung nur geringfügig schlechter, wenn das Bild nicht zweimal an derselben Position präsentiert wurde (25,5 %).

Auch können Objekte, die bewusst verarbeitet wurden, einen Priming-Reiz darstellen. Dies zeigt beispielsweise die Studie von Most & Astur (2007). Ihre Vpn mussten in einem Fahr Simulator Fahrtrichtungsanzeigen mit blauen Pfeilen folgen; dazwischen wurden Anzeigen mit gelben Pfeile eingebettet, die nicht beachtet werden sollten. Die Vpn zeigten deutlich schnellere Bremszeiten und weniger Kollisionen, wenn plötzlich ein blaues – statt ein gelbes – Motorrad ihre Fahrspur kreuzte. Dadurch, dass die Vpn auf die blauen Pfeile achten sollten, wurden alle Objekte (durch top-down Mechanismen) in derselben Farbe ebenfalls bis zu einem bestimmten Grad mit Aufmerksamkeit belegt.

Wie in diesem Kapitel dargestellt wurde, gibt es sowohl ein repetitives Priming (zweimalige Wiederholung desselben Objektes; Bar & Biederman, 1998) sowie ein semantisches Priming (eine semantische Beziehung zwischen zwei Stimuli; z. B. Meyer & Schvaneveldt, 1971). Generell geht man davon aus, dass das repetitive Priming einen stärkeren Effekt erzeugt als das semantische Priming. Dieser Effekt scheint jedoch durch Erfahrung moduliert zu werden.

So konnten Crundall & Underwood (2001) zeigen, dass der Priming-Effekt in Abhängigkeit der Erfahrung, die eine Vpn mit dem Stimulus-Material hat, unterschiedlich stark ausfallen kann. Den Vpn wurden Bilderpaare gezeigt, die entweder absolut identisch waren (z.B. zweimal ein „Achtung scharfe Linkskurve“-Verkehrsschild; entspricht repetitivem Priming) oder die sich semantisch ähnlich waren (zuerst ein „Achtung scharfe Linkskurve“ Verkehrsschild, anschliessend eine Strassenszene mit einer

scharfen Linkskurve; entspricht semantischem Priming). Die Vpn mussten dabei so schnell und korrekt wie möglich entscheiden, ob die beiden Bilder kongruent waren oder nicht. Die Forschenden beobachteten einen allgemein stärkeren repetitiven als semantischen Priming-Effekt, wobei die geübten Fahrer mehr vom semantischen Prime profitierten als die unerfahrenen Fahrer. Grundsätzlich gehen Crundall & Underwood (2001) davon aus, dass semantisches Priming eher der Realität entspricht.

Die bereits erwähnte Studie (Reijnen et al., in Bearb.) zeigt, dass diese erleichterte Verarbeitung eines Stimulus durch einen zuvor erschienen Stimulus bis hin zur Stufe der subordinaten Verarbeitung reicht. Dies bedeutet, dass ein spezifisches Objekt – etwa der Fahrzeugtyp statt ein Fahrzeug generell – das Entdecken des selben spezifischen Objekts selbst ohne Aufmerksamkeitszuwendung erleichtert.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass wir Menschen auf der einen Seite basierend auf einem aufmerksamkeitsbedingten Engpass weniger wahrnehmen als wir denken. Priming-Prozesse jedoch ermöglichen uns, deutlich mehr wahrzunehmen, als wir denken. Es gilt jedoch diese wenigen Ressourcen, die wir haben effektiv einzusetzen, unter anderem durch geschickte Gestaltung der Arbeitsumgebung des Menschen. Das gleichzeitige Lösen von mehreren Aufgaben bleibt jedoch immer mit vielen Risiken verbunden.

#### 5.4. Empfehlungen aufgrund wahrnehmungspsychologischer Befunde

1. Eingebblendete Informationen sollten nicht zu komplex sein. Entsprechend sind semantisch zu verarbeitende Informationen nicht zu empfehlen, da die Verarbeitung extrem ressourcen-raubend ist (dies gilt beispielsweise für Sätze wie der oben verwendete Hinweis „Want to meet for coffee ... at Starbucks on ...?“).
2. Informationseinheiten sollten mit Hilfe von Gestaltgesetzen wie beispielsweise das Gesetz der Nähe optimal präsentiert werden. Durch die räumliche Nähe von beispielsweise dem Ausrufezeichen und dem Text „ALERT“ in der Abbildung 14 werden diese als zusammengehörend wahrgenommen. Entsprechend dargestellte, resp. gut gruppierte Informationen können effizienter verarbeitet werden.

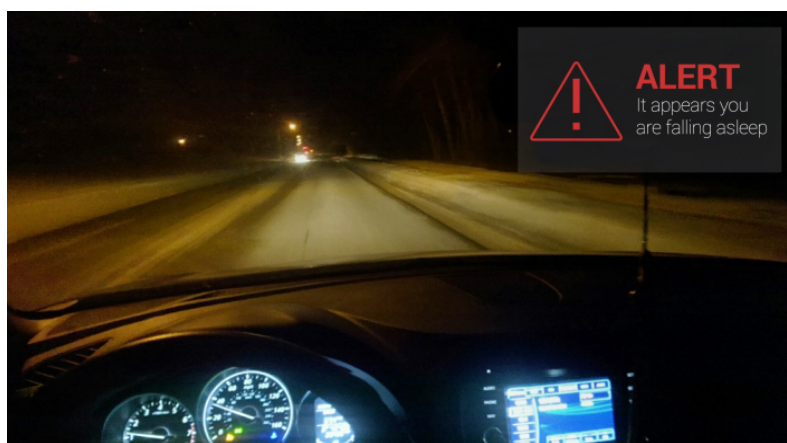


Abbildung 14: Ein Warnsignal, das vor möglichem Einschlafen warnt (Neverstill Media/Stephen Williams, 2016).

3. Informationen sollten in entsprechenden Kontexten präsentiert werden (d.h. nicht ein einzelnes Verkehrsschild, sondern nur beispielsweise in Kombination mit einem Strassenausschnitt).
4. In der Peripherie eingebblendete Informationen haben eine schlechtere Auflösung. Entsprechend

müssen diese zuerst in die „Fovea“ genommen werden, was eine Verschiebung der Aufmerksamkeit bedingt und dementsprechend Zeit benötigt.

5. Präsentierte Informationen sollten nicht mit dem Hintergrund verschmelzen (s. Abbildung 10). Ein leicht grauer Hintergrund verhindert dieses Verschmelzen, wodurch die beiden Informationen (Nachricht und Strasseninformationen) nicht zuerst ressourcen-raubend voneinander getrennt werden müssen.
6. Es sollten möglichst wenige Informationen einblendet werden. Je mehr beispielsweise Objekte eingeblendet werden, desto mehr Ressourcen werden für die Suche der relevanten Informationen benötigt.
7. Herausstechende Merkmale wie Farben oder Textelemente (s. Abbildung 14) ziehen die Aufmerksamkeit automatisch auf sich. Dies könnte dann gefährlich sein, wenn die Ressourcen der Aufmerksamkeit für den Strassenverkehr benötigt werden (z. B. heranrennendes Kind). Daher sollten solche Merkmale nur in gefährlichen Situationen wie in Abbildung 14 dargestellt, verwendet werden.

## 6. Bewertung von Chancen und Risiken (M. Hackenfort)

Unter Einbezug der Studien, die sich mit PHMD auseinandersetzen, dem Querbezug zu HUD sowie Informations- und Kommunikationssystemen in Fahrzeugen bis hin zu wahrnehmungspsychologischen Arbeiten lassen sich grundsätzliche sowohl Vor- als auch Nachteile ableiten. Darüber hinaus empfiehlt sich eine differenzierte Betrachtung von fahrzeuggebundenen und fahrzeugungebundenen Systemen.

Generell verspricht die Nutzung von PHMD – zumindest gegenüber HDD oder nomadischen Geräten – eine geringere motorische, auditive und vor allem visuelle Ressourcenbelastung, zumindest sofern man eine von ihnen ausgehende Ablenkung voraussetzt, die im Rahmen einer fahrtbezogenen oder nicht-fahrtbezogenen Informationsdarstellung stattfindet. Vorstellbare Inhalte wären beispielsweise Navigationsinformationen, Warnhinweise zu einem im toten Winkel befindlichen Radfahrer oder aber auch eingehende Nachrichten. PHMD können demnach auch unter Sicherheitsaspekten insofern gewisse Vorteile bringen, als dass die Erkennbarkeit von Warnhinweisen steigt: Obwohl z.B. der Kopf des Fahrers zum Beifahrer gewendet ist, könnte er die Kollisionswarnung im PHMD gegenüber einem HDD auch visuell schneller erfassen.

Hinzu kommt, dass bei der Nutzung von PHMD gegenüber HUD und HDD weniger Blickabwendungen nötig sind. Eine fortlaufende Geschwindigkeitsüberwachung – etwa beim Durchfahren komplexer innerstädtischer Verkehrssituationen – kann bis zu einem gewissen Grad auch unter der Bedingung gewährleistet werden, dass der Blick dauerhaft auf oder nahe der Strasse verweilen kann. Schnellere und angemessenere Reaktionen auf spontane Ereignisse dürften sich folglich positiv auf die Sicherheit auswirken. Darüber hinaus dürften «versehentliche» oder fahrlässige Geschwindigkeitsüberschreitungen rückläufig sein, da die Einblendung der aktuellen Geschwindigkeit näher am Bereich des zentralen Sehens eine erhöhte Sensibilisierung hervorruft. Wie viele Übertretungen aber versehentlich bzw. fahrlässig sind und wie viele vorsätzlich – hier wäre eine Sensibilisierung durch PHMD vermutlich erfolglos –, ist offen, was eine Quantifizierung des Sicherheitsgewinns letztlich erschwert.

Es ist damit zu rechnen, dass sich die Ausstattungsmerkmale von PHMD erweitern, was ebenfalls implizieren kann, dass Fahrassistentenfunktionen nachgerüstet werden könnten: Als zentrale Steuereinheit würde das Smartphone dienen, an das etwa sowohl eine externe Kamera als auch das PHMD drahtlos gekoppelt wären; dies würde beispielsweise den Einsatz einer Kollisionswarnung ermöglichen. Es verspräche eine schnellere Marktdurchdringung von sicherheitsförderlichen Assistenzsystemen, wobei nicht erst darauf zu warten wäre, bis «Top-down» von Fahrzeugherstellern eingeführte Systeme nach mehreren Jahren die Mittel- oder Kompaktklasse erreicht hätten. Darüber hinaus wäre ein herstellerübergreifender Einsatz in zunehmend verbreiteten Car-Sharing-Konzepten möglich.

Schliesslich versprechen viele Systeme mit PHMD die Möglichkeit der Sprachein- und -ausgabe, was sich in mehreren Untersuchungen ebenfalls als sicherheitsförderlich herausgestellt hat. Dies führt einerseits zu der Erkenntnis, dass PHMD – gegenüber HUD, HDD und vor allem nomadischen Geräten im Fahrzeug – die negativen Folgen der Ablenkung mildern kann.

Dem gegenüber stehen andererseits jedoch nicht wenige Nachteile.

Abgemilderte Folgen – so betonen es die Autoren fast aller im vorliegenden Bericht zitierter Studien – implizieren ebenfalls, dass die Nutzung eines PHMD gegenüber einer gar nicht erst vorhandenen Ablenkung weiterhin negative Folgen besitzt. Diese sind im Wesentlichen auf die kognitive Ressourcenbelastung zurückzuführen, die weitgehend unabhängig von der genutzten Anzeigeform zu erwarten ist. Verstärkt werden dürfte eine Inanspruchnahme kognitiver Leistungen zudem noch durch eine ungünstige Darstellung von Inhalten im Hinblick auf Qualität und Quantität, was einerseits bedeuten

könnte, dass Inhalte dann im Display erscheinen, wenn der Fahrer ohnehin in der Verkehrssituation stark (visuell) beansprucht ist. Werden andererseits Informationen komplex dargestellt, unter Verwendung einer ungünstigen – etwa den fahrzeuginternen Systemen widersprechenden – Symbolik, werden zu viele Informationen in zu kurzen Sequenzen dargestellt oder ist der Kontrast zum Realumgebung zu stark oder zu schwach, wäre selbst bei der ausschliesslichen Darstellung fahrtrelevanter Inhalte von einer ungünstigen Wirkung des PHMD auszugehen. Muss zudem angenommen werden, dass fahrtirrelevante Informationen ebenfalls auf das Display übertragen werden können, wären hohe Sicherheitsrisiken nicht ausgeschlossen. Denkbar wäre dies nicht nur im Hinblick auf fahrtirrelevante Nachrichten: Das Finanzierungskonzept mancher populärer Hersteller von PHMD beruht auf (ortsbezogenen) Werbeeinnahmen, was im vorliegenden Zusammenhang bedeuten könnte, dass an bestimmten Orten gezielt Werbebotschaften im Display dargestellt werden könnten – unabhängig davon, ob es die Verkehrssituation oder der Fahrerzustand erlaubt.

Ohnehin verweisen einige Autoren darauf, dass die Nutzungsdauer und -häufigkeit eines PHMD gegenüber HUD oder HDD höher ist. Da offenbar nicht wenige Anwender davon ausgehen, dass eine Ablenkung durch ein PHMD generell wenig gravierend ist, kann eine Zunahme der Ablenkung bei der Nutzung PHMD erwartet werden, zumindest solange Inhalt und Menge der dargestellten Informationen nicht begrenzt ist. Ansonsten liefe man Gefahr, eine zusätzliche Ablenkungsquelle zu schaffen.

Die Notwendigkeit zur Berücksichtigung ergonomischer Kriterien – aber auch die zugrunde liegende Erfahrung – dürfte deutlich grösser sein bei der inhaltlichen und technischen Gestaltung eines PHMD, das in die Fahrzeugelektronik integriert ist, das also von Fahrzeugherstellern entwickelt wurde. Divergierende Symbolik oder voneinander abweichende Informationen – beispielsweise die Anzeige unterschiedlicher Geschwindigkeiten – könnten und müssten ausgeschlossen werden, sofern die Entwicklung eines PHMD beim Fahrzeughersteller liegt.

Daher lässt sich folgern, dass allfällige Nachteile, die insbesondere Art und Umfang der im PHMD projizierten Informationen betreffen, vor allem – aber nicht zwingend ausschliesslich – fahrzeuggebundene Systeme betreffen.

Unabhängig davon liegt jedoch grundsätzlich ein Mangel an Befunden zur Qualität und Quantität der dargestellten Inhalte in einem PHMD vor: Es ist unklar, ab welchem Punkt schon alleine die Anzeige von nur-fahrtrelevanten Informationen die Fahrfähigkeit mindern kann. Was also aus ergonomischer Sicht «gute» PHMD sind, muss noch deutlich umfassender im Kontext des Führens eines Fahrzeugs untersucht werden. Darüber hinaus fehlen Erkenntnisse bezüglich der Wirkung auf ältere Verkehrsteilnehmende, bei denen andere visuelle Kompetenzen und Prozesse anzunehmen sind als bei Jüngeren.

Nicht zuletzt verweisen einige Studien auf einen Gewöhnungseffekt bei der Nutzung von PHMD, aufgrund dessen zu erwarten ist, dass diese mit zunehmender Erfahrung im Umgang mit ihnen länger und häufiger bedient werden. Inwieweit hier sicherheitsabträgliche Folgen zu erwarten sind muss ebenfalls möglichst realitätsnah untersucht werden.

Abschliessend kann also – gemessen an dem bislang noch stark eingeschränkten wissenschaftlichen Kenntnisstand – gefolgert werden, dass obwohl die Nutzung von PHMD im Sinne der Sicherheit eine Verbesserung gegenüber HDD und lose im Fahrzeug befindlichen Ablenkungsquellen, wie Smartphones etc., sind, bleiben fundamentale Nachteile je nach Art des Systems bestehen. Wenngleich gegenüber HUD «intelligente Brillen» Vorteile besitzen, sind sie gegenüber einer nicht-vorhandenen Ablenkungsquelle benachteiligt. Entscheidend beeinflusst wird jedoch die sicherheitsbezogene Kosten-Nutzen-Rechnung im Wesentlichen von der Quantität und Qualität der in der Brille dargestellten Inhalte: Ungünstig aufbereitete und nicht-fahrtbezogene Informationen, die technisch unzureichend und an ungünstiger Stelle in der Brille projiziert werden, dürften das Sicherheitsrisiko massiv erhöhen. Auf-



grund des vielseitigeren Einsatzzwecks dürften PHMD, die nicht ausschliesslich zur Verwendung im Fahrzeug entwickelt werden, zahlreiche der oben benannten Nachteile auf sich vereinigen. Systeme, die spezifisch auf das Führen eines Fahrzeugs ausgerichtet sind, könnten aufgrund der Möglichkeit zur Integration von fahrzeugspezifischen Inhalten im PHMD die meisten Vorteile bieten; doch selbst hierbei wäre eine vorgängige Evaluation des Einflusses auf die Sicherheit im Fahrzeug zu belegen, denn die Gefahr einer neuen Ablenkungsquelle bieten auch fahrzeugspezifische PHMD.

## 7. Hypothesen zum gesetzgeberischen Handlungsbedarf in der Schweiz (M. Hackenfort)

Unter Berücksichtigung des vorliegenden Rechtsvergleichs wird offenkundig, dass gesetzgeberische Regelungen explizit zu PHMD in keinem der betrachteten Staaten vorliegen. Gemessen an Artikel 3 Absatz 1 der Verkehrsregelverordnung sowie Artikel 31 Absatz 1 des Strassenverkehrsgesetzes erscheinen auch die Vorgaben in der Schweiz für das Tragen oder die Nutzung von PHMD nicht besonders spezifisch. Ergibt sich somit ein Handlungsbedarf?

Gemessen am gesetzgeberischen Ist-Zustand in den betrachteten Ländern lässt sich zunächst feststellen, dass sich das Schweizer Gesetz in einem sehr ähnlichen – unspezifischen – Rahmen bewegt, sofern es um die rechtliche Bewertung der Nutzung von PHMD während der Fahrzeugführung geht. Dies jedoch lässt die Frage offen, ob sich ein allfälliger Handlungsbedarf nicht statt dessen aufgrund des besonderen Kontexts der Chancen und Risiken von digitalen Brillen im Strassenverkehr ergibt.

Würde man die – zusammengefasst in Abschnitt 6 – benannten *Chancen* der Nutzung von PHMD im Fahrzeug stärker gewichten als die dort formulierten Risiken, wäre ebenfalls ein Handlungsbedarf für eine Anpassung der gesetzgeberischen Rahmenbedingungen kaum gegeben.

Man könnte jedoch auch zu dem Schluss kommen, dass die *Risiken* – wie oben formuliert – überwögen, insbesondere wenn man die Gefahr der kognitiven Ablenkung berücksichtigt. Möglicherweise würde dies die Versuche in zahlreichen US-Bundesstaaten erklären, einschlägige gesetzliche Beschränkungen zu entwickeln (Gershowitz, 2014). Würde man demzufolge die Nutzung von PHMD während der Autofahrt ausschliessen wollen, wird die Hypothese formuliert, dass die in der Schweiz vorliegenden Gesetzesartikel (3 VRV und 31 SVG) dies nur unzureichend bewirken würden.

Die in Artikel 3 Absatz 1 VRV im zweiten Satz formulierte Anforderung an den Fahrzeugführer, keine Verrichtung vorzunehmen, welche die Bedienung des Fahrzeugs erschwert, dürfte aufgrund der Möglichkeit zur Spracheingabe bei PHMD kaum anwendbar sein. Allenfalls bei einer zukünftig möglichen Gesten- oder Blicksteuerung des Systems wäre von einer « Verrichtung » auszugehen.

Die im dritten Satz formulierte Anforderung an den Fahrzeugführer, dafür Sorge zu tragen, dass seine Aufmerksamkeit durch Tonwiedergabegeräte sowie Kommunikations- und Informationssysteme nicht beeinträchtigt wird, scheint zwar grundsätzlich einen engeren Zusammenhang auch zur Sprach- oder Gestenbedienung eines PHMD aufzuweisen. Die Frage wird dann aber – allenfalls im Rahmen der Rechtsprechung – genauer zu klären sein, ab wann die « Bedienung des Fahrzeugs erschwert » oder die « Aufmerksamkeit beeinträchtigt » ist.

Untersagt ist nicht die *Nutzung* eines PHMD an sich sondern eine darauf zurückzuführende allfällige Reduktion der Aufmerksamkeit. Eine beweissicherer Ursache-Wirkungszusammenhang erscheint

dem – nicht juristisch ausgebildeten – Autor dieses Abschnitts aber als nahezu unmöglich. In diesem Zusammenhang dürfte die Bedienung des PHMD im Sinne einer Verrichtung einer Tätigkeit, die die Bedienung des Fahrzeugs erschwert, ebenfalls nur schwer belegbar sein.

Die vorliegenden Regelungen könnten somit gerichtliche Einzelfallentscheidungen erforderlich machen, beispielsweise hinsichtlich der Frage, ob ein Fahrzeugführer – dem Blick auf das PHMD folgend – das Fahrzeug nicht mehr beherrschen konnte. Allenfalls gestützt auf eine Indizienbeweiskette wäre zu belegen, dass der Fahrzeugführer seinen Vorsichtspflichten nicht mehr nachkommen konnte bzw. seine Aufmerksamkeit nicht der Strasse und dem Verkehr zuwendete. Gelänge dies, wäre eine Verurteilung – beispielsweise infolge eines Unfalls – denkbar und würde eine gewisse abschreckende und disziplinierende Wirkung entfalten.

Letztlich erscheint aber fraglich, ob einer allfälligen Schutzbehauptung, das PHMD sei im relevanten Moment gar nicht aktiv gewesen, beweissicher begegnet werden könnte – Gershowitz (2014) geht nicht davon aus. Auch insofern kann vermutet werden, dass letzterer Aspekt vor dem Hintergrund der aktuellen Rechtslage auch für Probleme bei der polizeilichen Kontrolle sorgen dürfte.

Würde man der Auffassung folgen, dass der vorliegende gesetzliche Rahmen in der Schweiz bezüglich der Nutzung von PHMD in Fahrzeugen aufgrund der genannten Gründe unzureichend wäre, empfiehlt Gershowitz (2014) ein schnelles Handeln, da die Einführung gesetzlicher Neuregelungen nach der in nicht allzu ferner Zukunft zu erwartenden Etablierung der Nutzung von PHMD in Fahrzeugen deutlich schwieriger wäre.

Der Autor führt fort, dass schnelles Handeln jedoch nicht darüber hinweg täuschen dürfe, dass mit der Formulierung von einschlägigen Gesetzen oder Verordnungen umfassende Herausforderungen verknüpft sind. Demnach müsste eine Formulierung Schritt halten mit zukünftigen technischen Entwicklungen, die zunehmend schneller eingeführt werden. Im vorliegenden Kontext wurde bereits in Kapitel 1.1 skizziert, dass beispielsweise eine Integration von PHMD in Kontaktlinsen in nicht allzu ferner Zukunft möglich wäre; aus gesetzgeberischer Sicht hätte dies aber beispielsweise zur Folge, dass solche Linsen einer zu engen Definition des allfällig in einem Gesetz definierten Begriffs des «Geräts» herausfallen würden.

Neben der «Zukunftssicherheit» einer allfälligen Formulierung eines Gesetzes oder einer Verordnung – im Rahmen derer auch neue nomadische HUD-Systeme erfasst werden könnten, die (wie z.B. das System *Navdy*) vom Smartphone gesteuert werden und daher verschiedenste, auch fahrtirrelevante, Informationen darstellen – wäre es gemäss Gershowitz (2014) zudem erforderlich, dass der Text eine gute Durchsetzbarkeit ermöglicht. Ausgeschlossen wären somit allfällige Behauptungen, das PHMD sei im betreffenden Moment gar nicht genutzt worden. Vorstellbar wäre dieses Szenario etwa bei der Nutzung normaler Korrekturgläser, die um eine PHMD-Komponente erweitert wurden.

Vor diesem Hintergrund schlägt Gershowitz (2014) eine Formulierung mit drei Teilaspekten vor, sofern man die Nutzung von PHMD in Fahrzeugen untersagen möchte:

- Ein Verbot des Tragens eines mobilen Computer-Headsets.
- Ein Verbot der Nutzung eines PHMD (was impliziert, dass es auch nicht in der Nähe der Augen angebracht werden kann, wie z.B. ein nomadisches HUD).
- Eine weite Definition von «Gerät», um Smart Watches und weitere Technologien, die in Zukunft etabliert werden könnten, umfassen zu können.

Diese vorgeschlagenen Formulierungen könnten den aufgrund der aktuellen Gesetzgebung in gewisser Weise bestehenden Interpretationsspielraum bei der Beurteilung der Frage verringern, ob und inwieweit die Nutzung von PHMD nun zulässig ist oder nicht

Zusammenfassend kann also als erste Hypothese formuliert werden, dass im internationalen Vergleich sowie unter der stärkeren Gewichtung der Vorteile der Nutzung von PHMD in Fahrzeugen die bestehende Gesetzgebung in der Schweiz ausreichend ist.

Betrachtet man hingegen die (kognitive) Ablenkungsgefahr bei der Nutzung von PHMD insbesondere unter der Annahme, dass auch und nicht wenige fahrtirrelevante Informationen auf das Display gebracht werden können und würde dem folgend die Position einnehmen, dass die Nutzung von PHMD nicht zulässig wäre, wird die zweite Hypothese formuliert, dass die bestehende Gesetzgebung in der Schweiz zu konkretisieren wäre ist und daher ein Handlungsbedarf besteht. Eine allfällige Neuformulierung würde jedoch eine grosser Herausforderung mit sich bringen, da der entsprechende Text insbesondere «zukunftsicher» und durchsetzbar sein müsste: Denkt man beispielsweise an zukünftig immer unauffälliger PHMD oder an um PHMD erweiterte Sehhilfen, erhält man einen Eindruck, wie schwierig dies werden könnte.

Abschliessend soll noch auf einen allenfalls möglichen Mittelweg hingewiesen werden, der zwar keine gesetzliche Neuformulierung umfassen würde, jedoch den durchaus vorhandenen Risiken der Nutzung von PHMD im Fahrzeug insofern begegnen würde, als Selbstverpflichtungen von Herstellern von PHMD verlangt werden würden. Diese könnten beispielsweise neben ergonomischen Vorgaben enthalten, dass während der Überschreitung einer niedrigen Geschwindigkeit keine fahrtirrelevanten Daten mehr auf dem Display erscheinen. In diesem Kontext wäre ebenfalls eine Zertifizierung – ähnlich, wie sie bislang schon bei gewissem Fahrzeugzubehör erforderlich ist – als Beleg für die Zulässigkeit zur Nutzung im Fahrzeug eingeführt werden.

## A. Literaturverzeichnis

- Abrams, R. A. & Christ, S. E. (2005). The onset of receding motion captures attention: Comment on Franconeri and Simons (2003). *Perception & Psychophysics*, 67(2), 219-223.
- Anderson, J. R. (2013). Der Stroop-Effekt. In J. Funke (Hrsg.), *Kognitive Psychologie* (7. überarb. Aufl., S. 17). Berlin: Springer.
- Aral AG. (2015). *Aral Studie. Trends beim Autokauf*. Bochum: Aral AG.
- Artho, J., Schneider, S. & Boss, C. (2012). *Unaufmerksamkeit und Ablenkung: Was macht der Mensch am Steuer?* (Forschungsauftrag SVI 2007/007 auf Antrag der Vereinigung Schweizerischer Verkehrsingenieure und Verkehrsexperten SVI). Bern: Bundesamt für Strassen.
- Bar, M. & Biederman, I. (1998). Subliminal visual priming. *Psychological Science*, 9(6), 464-468.
- Beckers, N., Schreiner, S., Bertrand, P., Reimer, B., Mehler, B., Munger, D. & Dobres, J. (2014). Comparing the demands of destination entry using Google Glass and the Samsung Galaxy S4. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting* 58(1), 2156-2160.
- Biberman, L. M. & Alluisi, E. A. (1992). *Pilot errors involving head-up displays (HUDs), helmet-mounted displays (HMDs), and night vision goggles (NVGs)*. Alexandria: Institute for Defense Analysis.
- Biederman, I., Mezzanotte, R. J. & Rabinowitz, J. C. (1982). Scene perception: Detecting and judging objects undergoing relational violations. *Cognitive Psychology*, 14(2), 143-177.
- Birrell, S. A., Fowkes, M. & Jennings, P. A. (2014). Effect of using an in-vehicle smart driving aid on real-world driver performance. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 15(4), 1801-1810.
- Biswas, M. & Xu, S. (2015). 47.3: Invited Paper: World Fixed Augmented Reality HUD for Smart Notifications. *SID Symposium Digest of Technical Papers* 46(1), 708-711.
- BMW. (2016). BMW Connected Drive: Head-Up Display. Abgerufen am 6.4.2016 unter [http://www.bmw.com/showroom\\_carribean/en/insights/technology/connecteddrive/2011/safety/vision\\_assistance/head\\_up\\_display\\_highlight.html](http://www.bmw.com/showroom_carribean/en/insights/technology/connecteddrive/2011/safety/vision_assistance/head_up_display_highlight.html)
- Broadbent, D. E. (1958). *Perception and communication*. London: Academic Press.
- Brookhuis, K. A. & Carsten, O. M. J. (2011). Testing implementation conditions for in-vehicle information systems. *Safety science*, 49(2), 107-109.
- Brookhuis, K. A., van Driel, C. J. G., Hof, T., van Arem, B. & Hoedemaeker, M. (2009). Driving with a congestion assistant; mental workload and acceptance. *Applied ergonomics*, 40(6), 1019-1025.
- Caird, J. K., Willness, C. R., Steel, P. & Scialfa, C. (2008). A meta-analysis of the effects of cell phones on driver performance. *Accident Analysis & Prevention*, 40(4), 1282-1293.
- Carsten, O. M. J. & Brookhuis, K. (2005). Issues arising from the HASTE experiments. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 8(2), 191-196.

- Cerf, M., Frady, E. P. & Koch, C. (2009). Faces and text attract gaze independent of the task: Experimental data and computer model. *Journal of Vision*, 9(12), 1-15.
- Chaloupka, C. & Risser, R. (1995). Don't wait for accidents: Possibilities to assess risk in traffic by applying the 'Wiener Fahrprobe'. *Safety Science*, 19(2), 137-147.
- Cohen, M. A., Cavanagh, P., Chun, M. M. & Nakayama, K. (2012). The attentional requirements of consciousness. *Trends in Cognitive Sciences*, 16(8), 411-417.
- Crawford, J. & Neal, A. (2006). A review of the perceptual and cognitive issues associated with the use of head-up displays in commercial aviation. *The International Journal of Aviation Psychology*, 16(1), 1-19.
- Crundall, D., Bains, M., Chapman, P. & Underwood, G. (2005). Regulating conversation during driving: a problem for mobile telephones? *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 8(3), 197-211.
- Crundall, D. & Underwood, G. (2001). The priming function of road signs. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 4(3), 187-200.
- Di Lollo, V., Kawahara, J., I., Ghorashi, S. S. & Enns, J. T. (2005). *The attentional blink: Resource depletion or temporary loss of control?* *Psychological Research*, 69(3), 191-200.
- Drews, F. A., Pasupathi, M. & Strayer, D. L. (2008). Passenger and cell phone conversations in simulated driving. *Journal of Experimental Psychology: Applied*, 14(4), 392-400.
- Evans, K. K., Horowitz, T. S., Howe, P., Pedersini, R., Reijnen, E., Pinto, Y., Kuzmova, Y. & Wolfe, J. M. (2011). Visual attention. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Cognitive Science*, 2(5), 1476-1492.
- Evans, K. K. & Treisman, A. (2005). Perception of objects in natural scenes: Is it really attention free? *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 31(6), 1476-1492.
- Ewert, U. (2014). *bfi-Faktenblatt Nr. 13: Fahrassistenzsysteme*. Bern: bfi.
- Fadden, S., Ververs, P. M. & Wickens, C. D. (1998). Costs and benefits of head-up display use: A meta-analytic approach. *Proceedings of the human factors and ergonomics society annual meeting* 42(1), 16-20.
- Fischer, E., Haines, R. F. & Price, T. A. (1980). *Cognitive issues in head-up displays*. Washington: National Aeronautics and Space Administration.
- Fletcher-Watson, S., Findlay, J. M., Leekam, S. R. & Benson, V. (2008). Rapid detection of person information in a naturalistic scene. *Perception*, 37(4), 571-583.
- Franconeri, S. L. & Simons, D. J. (2003). Moving and looming stimuli capture attention. *Perception & Psychophysics*, 65(7), 999-1010.
- Gershowitz, A. M. (2014). Google Glass While Driving. *William & Mary Law School Research Paper*, 09-280). Retrieved from [http://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract\\_id=2478673](http://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=2478673)
- Gish, K. W. & Staplin, L. (1995). *Human Factors Aspects of Using Head Up Displays in Automobiles: A Review of the Literature*. Washington: National Highway Traffic Safety Administration.
- Google Inc. (2016). Preferred Providers – For eyecare professionals interested in Glass. Ab-

gerufen am 07.04.2016 unter <https://www.google.com/glass/ecp/>

Green, C. S. & Bavelier, D. (2006). Enumeration versus multiple object tracking: The case of action video game players. *Cognition*, 101(1), 217-245.

Green, P. (2000). Crashes induced by driver information systems and what can be done to reduce them. *SAE Conference Proceedings*, 27-36.

Grill-Spector, K. & Kanwisher, N. (2005). Visual recognition. *As soon as you know it is there, you know what it is. Psychological Science*, 16(2), 152-160.

Hackenfort, M. (2013). *Unaufmerksamkeit & Ablenkung: Literaturreview*. Zürich: ZHAW Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften.

Haslam, P. & Mafeld, S. (2016). Google Glass: Finding True Clinical Value. Abgerufen am 16.03.2016 unter <http://www.whichmedicaldevice.com/editorial/article/390/google-glass-finding-true-clinical-value>

He, J., Choi, W., McCarley, J. S., Chaparro, B. S. & Wang, C. (2015a). Texting while driving using Google Glass™: Promising but not distraction-free. *Accident Analysis and Prevention*, 81, 218-229.

He, J., Chaparro, A., Nguyen, B., Burge, R. J., Crandall, J., Chaparro, B., Ni, R. & Cao, S. (2014). Texting while driving: Is speech-based text entry less risky than handheld text entry. *Accident Analysis & Prevention*, 72, 287-295.

He, J., Ellis, J., Choi, W. & Wang, P. (2015b). Driving while reading using Google glass versus using a smart phone: which is more distracting to driving performance. *Proceedings of the Eighth International Driving Symposium on Human Factors in Driver Assessment, Training and Vehicle Design*, 281-287.

Henderson, J. M. & Hollingworth, A. (1998). Eye movements during scene viewing: An overview. In G. Underwood (Hrsg.), *Eye guidance in reading and scene perception* (S. 269-293). Oxford: Elsevier.

Iino, T., Otsuka, T. & Suzuki, Y. (1988). *Development of heads-up display for motor vehicle (SAE Paper 880217)*. Warrendale, PA: Society of Automotive Engineers.

Inuzuka, Y., Osumi, Y. & Shinkai, H. (1991). Visibility of head up display (HUD) for automobiles. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting* 35(20), 1574-1578.

Isomura, A., Kamiya, K. & Hamatani, K. (1993). *Driver's Cognition in Peripheral Field of View*. SAE Technical Paper.

James, W. (1890). *The Principles of Psychology* (1). New York: Dover Publications.

Jimenez, P., Bergasa, L. M., Nuevo, J., Hernandez, N. & Daza, I. G. (2012). Gaze fixation system for the evaluation of driver distractions induced by IVIS. *Intelligent Transportation Systems, IEEE Transactions on*, 13(3), 1167-1178.

Jolicoeur, P., Gluck, M. A. & Kosslyn, S. M. (1984). Pictures and names: Making the connection. *Cognitive Psychology*, 16(2), 243-275.

Kirchner, H. & Thorpe, S. J. (2006). Ultra-rapid object detection with saccadic eye movements: Visual processing speed revisited. *Vision Research*, 46(11), 1762-1776.

Knabl, P., Schmerwitz, S., Doehler, H.-U., Peinecke, N. & Vollrath, M. (2014). *Attentional is-*

*sues with helmet-mounted displays in poor visibility helicopter flight*. Vortrag auf 31st European Association for Aviation Psychology Conference, Valetta.

Korteling, J. E. H. (1994). Effects of aging, skill modification, and demand alternation on multiple-task performance. *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, 36(1), 27-43.

Kress, B. (2015). *Designing the next generation of wearable displays*. Vortrag auf SPIE Optics + Photonics 2015.

Kurokawa, K. & Wierwille, W. W. (1991). *Effects of instrument panel clutter and control on visual demand and task performance*. Vortrag auf Society for Information Display International Symposium Digest of Technical Papers 22.

Laster Technologies. (2010). Revue de presse. Abgerufen am 16.03.2016 unter [http://www.laster.fr/laster/news/RevuedePresse10\\_10.pdf](http://www.laster.fr/laster/news/RevuedePresse10_10.pdf)

Lauber, F. & Butz, A. (2013). Are HMDs the better HUDs. *2013 IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR)*, 267-268.

Lee, P., Stewart, D. & Calugar-Pop, C. (2013). *Technology, Media & Telecommunications Predictions 2014*. London: Deloitte Touche Tohmatsu Limited.

Li, F. F., VanRullen, R., Koch, C. & Perona, P. (2002). Rapid natural scene categorization in the near absence of attention. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 99(14), 9596-9601.

Liu, Y.-C. (2003). Effects of using head-up display in automobile context on attention demand and driving performance. *Displays*, 24(4), 157-165.

Macé, M. J. M., Joubert, O. R., Nespoulous, J. L. & Fabre-Thorpe, M. (2009). The time-course of visual categorizations: You spot the animal faster than the bird. *PloS one*, 4(6), e5927.

Martin-Emerson, R. & Wickens, C. D. (1997). Superimposition, symbology, visual attention, and the head-up display. *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, 39(4), 581-601.

Matthies, D. J. C., Haescher, M., Alm, R. & Urban, B. (2015). *Properties of a Peripheral Head-Mounted Display (PHMD)*. Vortrag auf Human Computer-Interaction International 2015, Los Angeles.

McCann, R. S., Lynch, J., Foyle, D. C. & Johnston, J. C. (1993). Modelling attentional effects with head-up displays. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting* 37(19), 1345-1349.

MedicalXpress. (2013). First US surgery transmitted live via Google Glass. Abgerufen am 16.03.2016 unter <http://medicalxpress.com/news/2013-08-surgery-transmitted-google-glass-video.html>

Metz, B. (2009). *Worauf achtet der Fahrer*. Inaugural-Dissertation. Julius-Maximilians-Universität, Würzburg.

Mlodinow, L. (2012). *Subliminal. How your unconscious mind rules your behavior*. New York: Vintage Books.

Most, S. B. & Astur, R. S. (2007). Feature-based attentional set as a cause of traffic accidents. *Visual Cognition*, 15(2), 125-132.



- Neider, M. B. & Zelinsky, G. J. (2005). Scene context guides eye movements during visual search. *Vision Research*, 46, 614-621.
- Neverstill Media/Stephen Williams. (2016). DriveSafe for Google Glass helps you stay awake behind the wheel. Abgerufen am 28.06.2016 unter <http://phandroid.com/2014/01/13/drive-safe-google-glass>
- New York Times/Stephen Williams. (2016). In Audi's Virtual Cockpit, Technology Is Your Co-Pilot. Abgerufen am 19.05.2016 unter <http://www.nytimes.com/2016/05/20/business/audi-virtual-cockpit-moves-the-display-on-screen.html>
- Nikolic, M. I., Orr, J. M. & Sarter, N. B. (2004). Why pilots miss the green box: How display context undermines attention capture. *The International Journal of Aviation Psychology*, 14(1), 39-52.
- Okabayashi, S., Sakata, M. & Hatada, T. (1991). How an automotive head-up display affects a driver's ability to recognize the forward view. *Proceedings of the society for information display*, 32(1), 31-37.
- Olivers, C. N. (2007). The time course of attention: It is better than we thought. *Current Directions in Psychological Science*, 16(1), 11-15.
- Olivers, C. N., Van, D. S., S. & Hulleman, J. (2007). Spreading the sparing: Against a limited-capacity account of the attentional blink. *Psychological Research*, 71(2), 126-139.
- Palmer, E. M., Clausner, T. C. & Kellman, P. J. (2008). Enhancing air traffic displays via perceptual cues. *ACM Transactions on Applied Perception (TAP)*, 5(1), 1-22.
- Park, J., Cho, C., Baek, S. & Park, W. (2015). Effect of automotive head-up display (HUD) imagery location on driver preference associated with use of scrolling list while driving. *Proceedings 19th Triennial Congress of the IEA* 9, 14.
- Peelen, M. V. & Kastner, S. (2014). Attention in the real world: toward understanding its neural basis. *Trends in Cognitive Sciences*, 18(5), 242-250.
- Peng, Y. & Boyle, L. N. (2015). Driver's adaptive glance behavior to in-vehicle information systems. *Accident Analysis & Prevention*, 85, 93-101.
- Posner, M. I. (1980). Orienting of attention. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 32(1), 3-25.
- Potter, M. C. & Haggmann, C. E. (2015). Banana or fruit? Detection and recognition across categorical levels in RSVP. *Psychonomic Bulletin & Review*, 22(2), 578-585.
- Praß, M., Grimsen, C., König, M. & Fahle, M. (2013). Ultra rapid object categorization: Effects of level, animacy and context. *PloS one*, 8(6), e68051.
- Prinzel III, L. J. & Risser, M. (2004). *Head-up displays and attention capture*. Hampton: National Aeronautics and Space Administration, Langley Research Center.
- Reeves, A. & Sperling, G. (1986). Attention gating in short-term visual memory. *Psychological Review*, 93(2), 180-206.
- Reijnen, E., Hoffmann, J. M. J. & Zehetleitner, M. (in Bearb.). [working title] *You know that it is „a spoon“, even though you aren't aware of it!*
- Reijnen, E., Wolfe, J. M. & Krummenacher, J. (2013). Coarse guidance by numerosity in vi-

sual search. *Attention Perception & Psychophysics*, 75, 16-28.

Robbins, R. & Jenkins, D. (2015). *Eyes on the road: a review of literature and an in-car study of driving whilst navigating*. London: RAC Foundation.

Rosch, E., Mervis, C. B., Gray, W. D., Johnson, D. M. & Boyes-Braem, P. (1976). Basic objects in natural categories. *Cognitive Psychology*, 8(3), 382-439.

Rutley, K. S. (1975). Control of drivers' speed by means other than enforcement. *Ergonomics*, 18(1), 89-100.

Samuel, S., Zafian, T., Nicholas, C. A., Zhang, J., Knodler, M. & Fisher, D. L. (2016). *Do Traffic Warnings on Heads-Mounted Displays Improve Latent Hazard Anticipation? A Simulator Study*. Vortrag auf Transportation Research Board 95th Annual Meeting, Washington.

Sanderson, P. M., Watson, M. O., Russell, W. J., Jenkins, S., Liu, D., Green, N., Llewelyn, K., Cole, P., Shek, V. & Krupenia, S. S. (2008). Advanced auditory displays and head-mounted displays: advantages and disadvantages for monitoring by the distracted anesthesiologist. *Anesthesia & Analgesia*, 106(6), 1787-1797.

Sawyer, B. D., Finomore, V. S., Calvo, A. A. & Hancock, P. A. (2014). Google Glass: A Driver Distraction Cause or Cure. *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, 56(7), 1307-1321.

Sawyer, B. D. & Hancock, P. A. (2013). Performance degradation due to automation in texting while driving. *Proceedings of 7th International Driving Symposium on Human Factors in Driver Assessment, Training, and Vehicle Design* 68, 446-452.

Schneider, W. & Chein, J. M. (2003). Controlled & automatic processing: behavior, theory, and biological mechanisms. *Cognitive Science*, 27(3), 525-550.

Shapiro, K. L. (1994). The attentional blink: The brain's „eyeblick“. *Current Directions in Psychological Science*, 3, 86-89.

Shiffrin, R. M. & Schneider, W. (1977). Controlled and automatic human information processing: II. *Perceptual learning, automatic attending and a general theory*. *Psychological Review*, 84(2), 127-190.

Simons, D. J. (2000). Attentional capture and inattention blindness. *Trends in Cognitive Sciences*, 4, 147-155.

Simonyan, K., Aytar, Y., Vedaldi, A. & Zisserman, A. (2012). Presentation at Image Large Scale Visual Recognition Competition 2012. *ILSVRC2012*.

Smith, E. E. & Kosslyn, S. M. (2007). *Motor cognition and mental simulation*. *Cognitive Psychology: Mind and brain*, 451-481.

Sprenger, A. (1993). In-vehicle displays: head-up display field tests. *Vision in Vehicles*, 4, 301-309.

Strayer, D. L., Drews, F. A. & Crouch, D. J. (2006). A comparison of the cell phone driver and the drunk driver. *Human factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, 48(2), 381-391.

Strayer, D. L., Drews, F. A. & Johnston, W. A. (2003). Cell phone-induced failures of visual attention during simulated driving. *Journal of experimental psychology: Applied*, 9(1), 23.

Strayer, D. L., Cooper, J. M., Turrill, J., Coleman, J. R. & Hopman, R. J. (2015). *Measuring*

*Cognitive Distraction in the Automobile III: A Comparison of Ten 2015 In-Vehicle Information Systems*. Washington: AAA Foundation for Traffic Safety.

Stroop, J. R. (1935). Studies of interference in serial verbal reactions. *Journal of Experimental Psychology*, 18(6), 643-662.

Tanaka, J. W. & Taylor, M. (1991). Object categories and expertise: Is the basic level in the eye of the beholder? *Cognitive Psychology*, 23(3), 457-482.

Tippey, K. G., Sivaraj, E., Ardoin, W.-J., Roady, T. & Ferris, T. K. (2014). Texting while driving using Google Glass: Investigating the combined effect of heads-up display and hands-free input on driving safety and performance. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting* 58(1), 2023-2027.

Treffner, P. J. & Barrett, R. (2004). Hands-free mobile phone speech while driving degrades coordination and control. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 7(4), 229-246.

Treisman, A. M. & Gelade, G. (1980). A feature-integration theory of attention. *Cognitive Psychology*, 12(1), 97-136.

Treisman, A. M. & Schmidt, H. (1982). Illusory conjunctions in the perception of objects. *Cognitive Psychology*, 14(1), 97-136.

Vollrath, M., Huemer, A. K., Nowak, P. & Pion, O. (2015). *Ablenkung durch Informations- und Kommunikationssysteme*. Berlin: Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft e.V.

Vollrath, M. & Krems, J. (2011). *Verkehrspsychologie – Ein Lehrbuch für Psychologen, Ingenieure und Informatiker*. Stuttgart: Kohlhammer.

Ward, N. J. & Parkes, A. (1994). Head-up displays and their automotive application: An overview of human factors issues affecting safety. *Accident Analysis & Prevention*, 26(6), 703-717.

Ward, N. J., Stapleton, L. & Parkes, A. M. (1994). Behavioural and cognitive impact of night-time driving with HUD contact analogue infrared imaging. *Proceedings of the 14th International Technical Conference on Enhanced Safety of Vehicles*, 319-324.

Weihrauch, M., Meloeny, G. G. & Goesch, T. C. (1989). *The first head up display introduced by general motors*. SAE Technical Paper.

Weintraub, D. J. & Ensing, M. J. (1992). *The book of HUD: A head-up display state of the art report (CSERIAC State of the Art Report)*. Wright-Patterson Air Force Base, OH: Armstrong Aerospace Medical Research Lab.

Welford, A. T. (1952). The 'psychological refractory period' and the timing of high-speed performance—a review and a theory. *British Journal of Psychology. General Section*, 43(1), 2-19.

Welford, A. T. (1967). Single-channel operation in the brain. *Acta Psychologica*, 27, 5-22.

Wickens, C. D. & McCarley, J. S. (2008). *Applied Attention Theory*. Boca Raton: Taylor & Francis.

Wickens, C. D. & Long, J. (1995). Object versus space-based models of visual attention: Implications for the design of head-up displays. *Journal of Experimental Psychology: Applied*,

1(3), 179.

Wired.com. (2016). GM Makes Your Entire Windshield a Head-Up Display. Abgerufen am 6.4.2016 unter <http://www.wired.com/2010/03/gm-next-gen-heads-up-display/>

Wolfe, J. M. & Horowitz, T. S. (2004). *What attributes guide the deployment of visual attention and how do they do it?* *Nature Reviews Neuroscience*, 5(6), 495–501.

Wu, C. C., Wick, F. A. & Pomplun, M. (2014). Guidance of visual attention by semantic information in real-world scenes. *Frontiers in Psychology*, 5, 1-13.

Wynn, T., Richardson, J. H. & Stevens, A. (2013). Driving whilst using in-vehicle information systems (IVIS): benchmarking the impairment to alcohol. In M. A. Regan, J. D. Lee & T. W. Victor (Hrsg.), *Driver Distraction and Inattention Advances in Research and Countermeasures* (S. 253-275). Farnham: Ashgate Publishing.

Yarbus, A. L. (1967). *Eye movements and vision*. New York, NY: Springer.

Young, K. L., Stephens, A. N., Stephan, K. L. & Stuart, G. W. (2016). In the eye of the beholder: A simulator study of the impact of Google Glass on driving performance. *Accident Analysis and Prevention*, 86, 68-75.

Young, K. L., Stephens, A. N., Stephan, K. L. & Stuart, G. (2015). An Examination of the Effect of Google Glass on Simulated Lane Keeping Performance. *Procedia Manufacturing*, 3, 3184-3191.